

## UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE

ECOLE DOCTORALE 355 « Espaces, Cultures, Sociétés »

LABORATOIRE UMR 7300 ESPACE

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : GEOGRAPHIE

Marion BORDERON

### **Entre distance géographique et distance sociale : le risque de paludisme-infection en milieu urbain africain**

*L'exemple de l'agglomération de Dakar, Sénégal*

Sous la direction de Sébastien Oliveau et Daniel Bley

Soutenue le 02/02/2016 devant le jury :

**Jeanne-Marie Amat-Roze**, Professeure Emérite, Université Paris-Est Créteil, Rapporteur

**Daniel Bley**, Directeur de Recherche Emérite, CNRS, Co-Directeur

**Annabel Desgrées du Loû**, Directrice de Recherche, IRD, Examinatrice

**Sébastien Oliveau**, Maître de conférences HDR, AMU, Co-Directeur

**Léna Sanders**, Directrice de Recherche, CNRS, Examinatrice

**Christiane Weber**, Directrice de Recherche, CNRS, Rapporteur



---

*Photo de couverture : Quartier de Hann, Dakar, octobre 2012 - Marion Borderon*





« Nous survenons, en quelque sorte,  
au beau milieu d'une conversation qui  
est déjà commencée et dans laquelle  
nous essayons de nous orienter  
afin de pouvoir à notre tour  
y apporter notre contribution »

(p. 48)

Paul Ricœur, *Du texte à l'action*  
*Essais d'herméneutique II*, Paris,  
Seuil, 1986, 96p.



## Remerciements

Un défi [supplémentaire] à la rédaction d'une thèse est de ne pas oublier de remercier tous ceux qui ont été d'une aide précieuse à un moment ou à un autre du parcours. Le caractère de ces remerciements est finalement timide par rapport à l'ampleur de tout ce que je dois à ceux qui seraient légitimes de se reconnaître ici.

Merci à Sébastien Oliveau pour la direction de ces travaux. Sans sa disponibilité, sa générosité à transmettre sa passion pour son travail et sa bienveillance, l'aventure du doctorat aurait été sans doute plus éprouvante et bien moins agréable.

Merci à Daniel Bley d'avoir accepté de codiriger ces travaux et de m'avoir également accordé sa confiance et sa bienveillance.

Merci aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de rapporter et d'examiner ce mémoire : Jeanne-Marie Amat-Roze, Annabel Desgrées du Loû, Christiane Weber et Léna Sanders.

Merci aux membres du programme ACTUPALU, spécifiquement Richard Lalou ainsi que les collègues 'toulousains', Vanessa Machault, Cécile Vignolles et Jean-Pierre Lacaux.

Un merci chaleureux à mes collègues et amis d'ESPACE : Yoann Doignon, Joël Querci, Lionel Kieffer, Léa Wester, Florian Masse, Vincent Laperrière, Samuel Carpentier et un merci tout particulier à Fred Audard, dont le soutien sans faille depuis Brazza a été d'une aide précieuse. Merci aux collègues enseignants, aux étudiants croisés qui sont devenus grands et aux collègues de MASS, particulièrement Marie-Christine Roubaud et Thomas Willer.

Merci aux familles d'accueil à Dakar : Amandine & More, Christiane, son mari, ses enfants, Sara et son mari ainsi qu'aux collègues de là-bas, Alphousseyni et Moustapha. Merci aux membres de l'IRD de Hann qui m'ont accueilli lors du dernier séjour. Merci aux copains : Ibrahima, Saydou, Modou et son frère, Alpha, Chris et Amadou.

Merci aux collègues et amis croisés au fil des colloques, workshops, réunions en tout genre,... qui font vivre la recherche et rendent agréables et amicales les opportunités de se rencontrer et de travailler ensemble.

Une mention spéciale pour mes collègues actuels qui m'ont fait confiance bien avant l'heure et m'ont offert un cadre de travail idéal. Thanks to Stefan Kienberger and Stefan Lang.

Il est peu probable que mon parcours ait été similaire sans le LMA. Puisque je n'ai jamais eu l'occasion de remercier ceux qui m'ont apporté leur encouragement et leur amitié dans un moment décisif de l'existence, je dédie ces lignes à tous ceux dont j'ai eu la chance de croiser le chemin à cette époque-là.

Il est encore moins probable que mon parcours ait été le même si je n'avais pas travaillé avec toi Camille.

A mes amis les plus chers, puissent-ils me pardonner de ne pas les nommer. S'ils m'ont supporté dans les moments les moins faciles, j'ai confiance pour que vous ne m'en vouliez pas trop de vous laisser dans l'anonymat.

Merci à Jean-Paul pour sa gentillesse et la relecture de ce manuscrit. Je prends le parti de vous citer au moins deux fois : merci à Claire, Joana et Yoann pour leurs relectures précieuses.

Vous savoir toujours à mes côtés alors que je ne suis pas souvent aux mêmes endroits est une condition indispensable à mon avancement. Merci à mes frères, ma mère et mon père. Je pense également à vous aujourd'hui, grand-père et grand-mère. J'aurais tant voulu vous dire que j'avais (enfin) fini mes études.

Enfin, c'est à Claire, que je dédie ce travail. Merci à elle.

# Sommaire

Remerciements.....	i
Sommaire.....	iii
Sigles .....	v
<b>Introduction générale</b> .....	9
<b>PARTIE I DE LA MALADIE " DES MARAIS " A CELLE DE LA PAUVRETE : MECANISME DE TRANSMISSION DU PALUDISME ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE GLOBALE .....</b>	<b>21</b>
CHAPITRE 1. Le paludisme dans le monde : une maladie ancestrale .....	23
CHAPITRE 2. Lecture d'un système pathogène complexe : présentation des éléments, état des modélisations existantes et spécificité du paludisme urbain.....	47
CHAPITRE 3. De l'intérêt du raisonnement géographique sur un fait de santé - Enjeu et positionnement de recherche.....	65
<b>PARTIE II QUALIFIER LES ESPACES URBAINS DE L'AGGLOMÉRATION DAKAROISE : IDENTIFIER LES SOUS-ESPACES DE LA VILLE POUR ÉCLAIRER LES CONTEXTES À RISQUE PALUSTRE .....</b>	<b>107</b>
CHAPITRE 4. Approches classiques d'analyse du contexte urbain - Le cas de l'agglomération Dakaroise .....	109
CHAPITRE 5. Rechercher les paysages préférentiels du vecteur du paludisme à Dakar .....	137
<b>PARTIE III ANALYSES ET MESURES DES DISTANCES A L'INFECTION : RECONSTRUIRE LE PUZZLE EPIDEMIOLOGIQUE PALUSTRE DANS L'AGGLOMERATION DAKAROISE .....</b>	<b>153</b>
CHAPITRE 6. Le risque d'épidémie palustre "à mi-distance de la misère et du soleil" .....	155
CHAPITRE 7. L'inscription spatiale du paludisme-infection. Effets des distances spatiale et sociale .....	171
CHAPITRE 8. Echelle individuelle, échelle agrégée : quelles distances sociales dans le risque palustre? .....	195
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>217</b>
Postface.....	223
En fin.....	225

Annexe 1 : Carte de situation avec référence aux lieux cités dans le texte .....	227
Annexe 2 : Résumé de la construction de la variable modélisée : taux d'agressivité .....	229
Annexe 3 : le projet ACTUPALU.....	231
Bibliographie .....	237
Table des figures .....	271
Table des tableaux.....	273
Table des encadrés .....	274
Table des matières.....	277
Résumé / Abstract .....	284

## Sigles

ACM : Analyse en Composantes Multiples

ACP : Analyse en Composantes Principales

ACTs : Artemisininbased Combined Therapies,

AED : Analyse Exploratoire de Données

AEDS : Analyse Exploratoire de Données Spatiales

AMU : Aix Marseille Université

ANOVA : ANalyse Of VAriance

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

AOF : Afrique Occidentale Française

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CCD : Cold Cloud Duration

CEGET : Centre d'Etude de GEographie Tropicale

CFA : Colonies Françaises d'Afrique

CIST : Collège Internationale des Sciences du Territoires

CNFG : Comité National Français de Géographie

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

COO : Classifications Orientées Objet

CPP : Classification Pixel à Pixel

CTA : Combinaisons Thérapeutiques à base d'Artémisinine

DDT : DichloroDiphénylTrichloroéthane

DEA : Diplôme d'Etudes Approfondies

DR : Districts de Recensement

ECTQG : European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography

GE : Goutte Epaisse

GMAP : Global Malaria Action Plan

GMEP : Global Malaria Eradication Programme

GPS : Global Positioning System

GTQ : Géographie Théorique et Quantitative

HPST (loi) : Hôpital, Patient, Santé et Territoires

IDH : Indicateur de Développement Humain

IFAN : Institut Fondamental d' Afrique Noire

IRBA : Institut de Recherche Biomédicale des Armées

IRD : Institut de Recherche et Développement

IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique

LISA : Local Indicators of Spatial Association

MAP : Malaria Atlas Project

MARA/ARMA : Mapping Malaria Risk in Africa/ Atlas du Risque de la Malaria en Afrique

MAUP : Modifiable Areal Unit Problem

MII : Moustiquaires Imprégnées d'Insecticide

MILDA : Moustiquaire Imprégnée Longue Durée d'Action

MILDA : Moustiquaires Imprégnées à Longue Durée d'Action

MIT : Multi- Inter- Trans-disciplinarité

NDVI : Normal Difference Vegetation Index

OCCGE : Organisation de Coordination et de Coopération pour la lutte contre les Grandes Endémies

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économique

OMD : Objectifs Millénaires pour le Développement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé



ONU : Organisation des Nations Unies

OPO : Observatoire de Population de Ouagadougou

OR : Odds-Ratio

ORSC : Office de la Recherche Scientifique Coloniale

ORSOM : Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

PCR : Polymerase Chain Reaction

PDIS : Programme de Développement Intégré de la Santé

PECADOM : Prise En Charge A DOMicile

PIB : Produit Intérieur Brut

PNDS : Plan National de Développement Sanitaire

PNLP : Programme National de Lutte contre le Paludisme

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

RBM : Roll Back Malaria

RGPH : Recensement General de la Population et de l'Habitat

ROI : Region of Interest

SHS : Sciences Humaines et Sociales

SIG : Systèmes d'Information Géographique

SoVI® : Social Vulnerability Index

TDR : Tropical Diseases Research

TDRs : Tests de Diagnostic Rapide

TIE : Taux d'Inoculation Entomologique

UMR : Unité Mixte de Recherche

UNICEF : United Nations International Children's Emergency Fund

UNU-EHS : Environment Human Security - United Nations University

URMITE : Unité de Recherche sur les Maladies Infectieuses et Tropicales Emergentes

UTM : Universal Transverse Mercator

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine

VS : Vulnérabilité Sociale

WGS 84 : World Geodesic System 1984

## Introduction générale

### Du choix du sujet d'étude....

Les racines étymologiques du terme paludisme en disent long sur les causalités premières imputées par l'Homme à cette maladie. Ce nom dérive du mot latin *palus* dont le second sens est "marais, étang"<sup>1</sup>. L'utilisation du terme désignant la maladie, n'arrive en fait que très tardivement. La première apparition connue du nom paludisme date de 1869<sup>2</sup>, soit une dizaine d'années avant les premières découvertes sur le parasite par A. Laveran et celles sur le vecteur par R. Ross qui ont respectivement contribué à établir que la maladie était parasitaire et vectorielle. Un autre terme, *malaria*, d'origine italienne (littéralement "mauvais (*mala*) air (*aria*)") est fréquemment usité, notamment dans le monde anglo-saxon. Ses premières utilisations sont datées aux alentours de 1820. Il souligne l'association qui perdurait auparavant entre fièvre et marais, zones où l'air souvent chargé d'émanations dues aux eaux stagnantes semblait mauvais et favorable aux accès fébriles. Ce rapport causal est elliptique, occultant la pièce maîtresse du chaînon de la transmission : le moustique vecteur. Présent dans de nombreux écosystèmes, il rend possible la transmission des *Plasmodium*<sup>3</sup> d'un homme infecté à un autre. Depuis ces découvertes, la géographie de l'infection et les procédés de luttés engagés pour la maîtriser ont fortement évolué. En ce début de XXI<sup>ème</sup> siècle, la situation est plutôt favorable et la pandémie semble régresser fortement. Dans le cas du Sénégal, le pays semble être à même d'intégrer bientôt la phase de pré-élimination du paludisme, qui précède celle de contrôle. Félicité par les instances internationales pour la baisse drastique de sa morbidité et mortalité, il fait office de bon élève pour son engagement dans la lutte contre la pathologie (RBM, 2010). Cependant, les chiffres démontrant la régression ne sont pas avérés et soulignent, dans tous les cas, que la situation de contrôle de la parasitose n'est pas homogène dans tout le pays et ne nécessite pas partout les mêmes moyens.

Le paludisme est donc une pathologie ancienne encore présente, bien que son champ d'action se soit largement réduit au cours du siècle dernier. Les charges de morbidité et de mortalité palustres sont aujourd'hui très localisées. 80 % des 219 millions de malades sont en Afrique subsaharienne et 90% des 660 000 décès estimés en 2010 sont concentrés sur le continent africain (RBM, 2010). Selon une considération générale sur les conditions sanitaires mondiales, cette maladie peut caractériser les pays qui n'ont pas franchi le cap de « la transition épidémiologique<sup>4</sup> », c'est-à-dire ceux qui sont encore sous le joug des maladies infectieuses et parasitaires (Omran, 1971). Dans cette optique, l'infection serait persistante dans les pays les plus pauvres de la planète, bastions de résistance de la parasitose. Mais cette théorie de la transition sanitaire est schématique et

<sup>1</sup> Selon le trésor de la langue française informatisé (<http://atilf.atilf.fr/>), les deux sens du mot *palus* sont "poteau, pieu" et "marais, étang".

<sup>2</sup> Le petit Robert 2012.

<sup>3</sup> Les *Plasmodium* sont les parasites responsables de l'infection palustre.

<sup>4</sup> Comme dans la transition démographique, le premier stade de la transition épidémiologique correspond à une baisse de la mortalité. Elle est déclenchée par une amélioration de l'hygiène, de l'alimentation et de l'organisation des services de santé, ainsi que par une transformation des causes de décès : les maladies infectieuses disparaissant progressivement au profit des maladies chroniques et dégénératives. Les pays évoluent d'un fardeau à l'autre, tout en ayant réduit leur mortalité et augmenté l'espérance de vie de leur population (Définition inspirée de celle de l'INED, institut National d'Etude Démographique).

controversée. Et, à l'instar du Sénégal dont la capitale sera notre terrain d'étude, la situation sanitaire de ces pays ne se résume pas à une simple typologie. Ils doivent souvent leur mortalité à ces maladies "du passé" (maladies diarrhéiques, choléra, diphtérie, maladies vectorielles dont le paludisme...) mais aussi aux maladies non contagieuses, dont l'importance a pu s'accroître ces dernières années (cancers, obésité, maladies dégénératives en général,...). Les unes ne remplacent pas les autres mais procèdent d'un effet cumulatif aux lourdes conséquences humaines et économiques. Ce schéma a également été bouleversé par l'irruption d'une maladie virale, le sida. Cette pandémie a fait chuter massivement l'espérance de vie des populations de certains pays. Plus récemment encore, nous pouvons noter les inquiétudes face à l'émergence ou la recrudescence de certaines maladies vectorielles dans les deux hémisphères, c'est le cas par exemple du chikungunya et de la dengue (Olshansky et al., 1998). Ainsi, plus de 30 ans après le premier succès mondial d'éradication d'une maladie infectieuse (la variole en 1977), les grands organismes n'ont plus aujourd'hui une vision utopique d'éradication de ces maladies transmissibles mais visent leur contrôle (Vaillant & Salem, 2008). Le sixième Objectif Millénaire pour le Développement (OMD) (combattre le VIH/sida, le paludisme et d'autres maladies) en est un bon exemple.

En outre, la distribution géographique de ces maladies dépend d'un phénomène mondial : l'urbanisation. Ce processus est relativement récent : au début du 19<sup>ème</sup> siècle, seulement 5% de la population mondiale réside en ville. Depuis, la population urbaine a été multipliée par 15. Sur le continent africain, c'est environ 400 millions de personnes qui vivent en ville, soit 40% de la population (ONU-Habitat, 2010). De manière relative, le fait de vivre en ville tend à améliorer la situation sanitaire des populations : les taux de mortalité infantile en zone urbaine sont inférieurs à ceux enregistrés en zone rurale et l'accès aux installations sanitaires comme à l'eau potable y est largement meilleur (Banque mondiale, 2013). Cependant, lorsque le processus d'urbanisation est non ou mal contrôlé, les situations de certains sous-espaces de la ville peuvent être plus mauvaises qu'ailleurs, cumulant des vulnérabilités (quartiers informels sans accès à l'eau ou à l'assainissement, construits sur des zones inondables, ayant une forte promiscuité favorisant les flambées épidémiques,...) (Pelling, 2003; Lall & Deichmann, 2009). La ville constitue un objet complexe, à l'environnement dense, hétérogène et ouvert sur l'extérieur, ce qui entraîne une épidémiologie nouvelle et entretient un système de soins varié mais inégalement accessible et efficace (Salem & Fournet, 2003). Conscients de ces enjeux et des inégalités de santé en milieu urbain qu'ils induisent, les organismes internationaux n'ont eu de cesse ces dernières années de souligner l'importance de réaliser des études sur la santé en milieu urbain (OMS & ONU-HABITAT, 2010).

Dans ce contexte de régression du paludisme, d'émergence de nouvelles urgences (la dengue, Ebola,...), de la place des études sur les disparités de santé en milieu urbain alors que le paludisme se présente souvent comme une pathologie des zones rurales, il est nécessaire d'explicitier la question préliminaire à la réalisation de ces travaux : y a-t-il encore des zones d'ombres sur le paludisme qui justifierait une nouvelle étude et notamment la réalisation d'une géographie du paludisme ? Quelle est la place et l'intérêt de réaliser cette géographie du paludisme en milieu urbain et spécifiquement dans la capitale sénégalaise, Dakar ? On se demande légitimement : que ne sait-on pas aujourd'hui sur le paludisme?

Le contexte épidémiologique du paludisme a évolué récemment. Les moyens de lutte comme les MILDA (Moustiquaires Imprégnées à Longue Durée d'Action), les ACTs ("Artemisinin-based Combined Therapies") et l'efficacité des TDRs (Tests de Diagnostic Rapide) ont rendu possible une baisse drastique de la charge morbide et létale imputées au paludisme, et ce, même dans les régions d'endémie. A nouveau, certains chercheurs, certaines organisations ou encore certains médias s'autorisent l'emploi du terme éradication. C'est dans ces perspectives euphorisantes que la question du paludisme urbain se pose avec acuité. La géographie du paludisme en ville n'existe pas, l'observation et le suivi de plusieurs millions de personnes sont un casse-tête méthodologique pour toute réalisation d'enquête qui se voudrait représentative à une échelle fine. Il est par exemple rare et coûteux (un suivi génétique des populations plasmodiales serait nécessaire), de savoir si un porteur asymptomatique, c'est-à-dire porteur du parasite mais ne présentant aucun symptôme de l'infection, ou un malade a été victime d'une infection qui a eu lieu hors ou dans la ville. Quelles actions entreprendre alors pour améliorer nos connaissances de ce risque d'infection? Comment pallier ces difficultés d'observation de la pathologie? Le paludisme urbain est-il un système pathogène fragile car la transmission n'y est guère possible, ou au contraire redoutable car finalement difficile à surveiller et à contrôler? La diffusion parasitaire y est peut être faible, mais les faits sont là : malgré la pression médicamenteuse forte en ville, une transmission saisonnière a lieu. De quelques cas épars dans certains quartiers, la prévalence est, dans d'autres, au-dessus du seuil de phase de contrôle (>5% de prévalence) (Diallo et al., 2012a).

Le paludisme urbain mérite donc encore bon nombre d'études, qui plus est en sciences sociales. En effet, la lecture de la maladie via ses dimensions humaines et sociales reste aujourd'hui encore insuffisante (Ndoye, 2008). Les conceptions portées sur cette pathologie, entremêlées de connaissances scientifiques et de savoirs populaires, en sont une des raisons notables. C'est le propre de tous les phénomènes manifestes, appropriés par de nombreux acteurs : le processus de transmission du paludisme et ses composantes semblent parfois si évidemment connus qu'on finit par en oublier la complexité ou, *a contrario*, plus on engrange de connaissances et plus le doute survient quant aux contradictions qui résident dans cette accumulation de savoirs. Apparaît ici une des difficultés de compréhension et de modélisation de la chaîne épidémiologique du paludisme. Bien que ses composantes soient connues et que de nombreuses études aient éclairé les interactions entre le moustique vecteur, du genre *anopheles*, et les différents types de parasite(s), les *Plasmodium*, les différentes configurations possibles du complexe pathogène semblent aussi nombreuses qu'il existe de contextes socio-spatiaux (Sallet & Rogier, 2009). Aussi moins étudié car plus récent, l'originalité et les spécificités du paludisme urbain en font un bon exemple de contexte particulier dans lequel le risque d'infection se décline selon des logiques qui trouvent leurs racines dans les caractéristiques paysagères des différents tissus urbains et celles, sociales, des populations y résidant.

Plusieurs raisons expliquent la prise en compte tardive du paludisme urbain comme enjeu de recherche. L'urbanisation est, au départ, un frein à la réalisation de la chaîne épidémiologique palustre (Trape, 1989). Elle est présentée comme un modulateur secondaire de la transmission dans la typologie de Carnevale et Mouchet publiée en 1993 et réactualisée en 2004. Ils présentent et résument les différentes configurations spatiales du paludisme qui existent sur le continent africain.

L'urbanisation contraint notamment le développement de gîtes larvaires, car les paysages anthropisés ne laissent qu'une faible place aux eaux douces, claires, propres et ensoleillées, qu'affectionne particulièrement le vecteur principal du paludisme. En outre, le recours à une chimioprophylaxie raisonnée tend à faire disparaître le parasite en ville (Pagès, Orlandi-Pradines & Corbel, 2007). Ainsi, la faible probabilité de contracter le paludisme en ville par rapport au milieu rural a longtemps incité les chercheurs à parler de paludisme d'importation en milieu urbain. Aujourd'hui, il est considéré comme paludisme endogène et des épidémies palustres de transmission locale peuvent se manifester régulièrement (Donnelly et al., 2005). En outre, le nombre de cas de paludisme en ville en chiffres absolus est de fait largement supérieur à celui du monde rural, conséquence de l'augmentation du taux d'urbanisation. Il est également intéressant de souligner la distribution fortement hétérogène des cas d'infection palustre dans l'espace ainsi que des anophèles infectés (pour ce qui est du cas d'étude que nous examinons dans ces travaux, voir les références sur Dakar : Machault et al, 2009). Cela est directement dû aux caractéristiques de l'environnement urbain. Constitué de tissus urbains différents, l'espace urbanisé peut se présenter comme une imbrication de paysages aux morphologies très variées et ce, sur de courtes distances. Dès lors, la dynamique de l'endémie palustre est intrinsèquement liée aux différents types d'urbanisation présents dans les villes qui contiennent (ou non) des facteurs naturels et un contexte socio-politique prédisposant au risque d'infection (Salem, 1998).

### **...en géographie**

Si le paludisme a régressé en ce début de siècle, cela n'est pas en contradiction avec l'importance grandissante d'étudier encore plus en détails chacune des composantes du système pathogène palustre et leurs interactions. Les analyses doivent être adaptées à leur contexte et doivent représenter la diversité des territoires urbains. En effet, reconnaître les territoires à risque permettra de cibler les besoins des populations, mieux comprendre les mécanismes de transmission du parasite et adapter les stratégies de santé publique. La lutte contre le paludisme doit être accordée à chaque profil épidémique pour être utile, en particulier dans un contexte de faible endémicité (Cotter et al., 2013). Cibler la population vulnérable est socialement plus efficace (quand les gens sont concernés, la sensibilisation est plus efficiente) et économiquement moins cher (il y a moins de personnes à atteindre). Cependant, les programmes de suivi de la maladie comme le PNLP (Programme National de Lutte contre le Paludisme), ont encore peu de recul (ce dernier voit le jour en 1995) et les connaissances et données accumulées sont encore trop peu nombreuses. De plus, dans son ouvrage anthropologique *La société sénégalaise face au paludisme*, T. Ndoye ajoute que les sciences humaines se sont intéressées tardivement aux aspects sociaux de ce risque d'exposition en milieu urbain (Ndoye, 2008). Les études existantes restent principalement l'apanage d'observations entomologiques et cliniques. Dans la hiérarchie des facteurs nécessaires à la transmission, cela se légitime : sans anophélisme pas de paludisme. Cependant, il peut y avoir anophélisme sans paludisme puisque la présence parasitaire dépend de l'hôte humain. Le questionnement des attributs économiques et sociaux du porteur asymptomatique, ainsi que son comportement et son lieu de résidence, restent donc à investiguer. Dans un contexte de proximité avec la phase d'élimination du paludisme, les populations sont paradoxalement plus vulnérables à une résurgence épidémique. Elles sont non immunisées et non préparées, particulièrement dans un

contexte où il y a une méconnaissance profonde des mécanismes de transmission. A cela s'ajoute parfois une surveillance relâchée et une absence de connaissance des hotspots de vulnérabilité pouvant être des foyers de départ d'une crise sanitaire (Robert, Trape & Rogier, 2011).

Si la recherche de foyers épidémiques et une amélioration de la compréhension des mécanismes de diffusion de la transmission semblent donc des objectifs pertinents pouvant être traités par un géographe, nous avons également réfléchi plus largement à notre questionnement. Qu'est-ce qu'implique aujourd'hui le fait de se poser une question de recherche en milieu tropical ? Nous avons choisi dans la thèse, de réfléchir à notre positionnement de recherche, en discutant de la légitimité d'une géographie " à qualificatifs " : géographie tropicale, théorique et quantitative, de la santé,... Dans cet esprit, nous interrogerons la possibilité de se revendiquer d'un héritage de la géographie tropicale tout en souhaitant s'inscrire dans le courant de la géographie théorique et quantitative.

Enfin, ramenée à notre objet d'étude qu'est le paludisme, on s'est également demandé si cette affection était plutôt un fait de nature ou de société. Puisqu'elle ne couvrirait pas principalement, il y a encore un siècle, la zone tropicale, comment se fait-il qu'on ait pu la maîtriser sous d'autres latitudes ? Cette question de rapport entre faits de nature et faits de société, aussi artéfactuelle soit-elle, illustre bien le caractère de ce problème de santé publique qui convoque dès lors les sciences naturelles et les sciences de la société, en incarnant l'hybridation de ces deux ordres de faits. Car, d'un côté, c'est bien sous les tropiques que la virulence épidémiogène des complexes pathogènes a contribué à la naissance de l'écologie des maladies, et que l'acuité de ces questions sanitaires est toujours de mise. Pourtant, sans remettre en cause la capacité vectorielle bien supérieure des espèces anophéliennes africaines à celles des pays d'Europe par exemple, les questions de développement, de vulnérabilité des populations et de prise en charge de la pathologie par les autorités publiques des pays, face à un tel enjeu sanitaire, semblent également expliquer les difficultés de maîtrise de cette parasitose. Devant la complexité du sujet, c'est ici que nous nous sommes interrogée sur les principes épistémologiques à suivre, questionnant par là-même la potentialité heuristique et la faisabilité des pratiques interdisciplinaires. C'est d'ailleurs dans cet objectif qu'on a cherché, tout au long des travaux, à travailler en collaboration avec des équipes de chercheurs d'horizons multiples s'étant intéressées dans des temporalités concomitantes, au sujet du paludisme à Dakar. Cela permet de relier des connaissances, au départ isolées et parcellaires, pour faire émerger de nouveaux savoirs. La place de Dakar, dans les recherches sur le paludisme n'est justement pas neutre. Le Sénégal est un pays d'étude très fréquent pour les chercheurs francophones (Robert, Molez & Becker, 1997) et de nombreux chercheurs de géographie tropicale en ont fait leur terrain de recherche (Knafo, 1997). Dans un contexte d'étude en milieu urbain, cela nous permet de bénéficier d'une littérature existante en parasitologie et entomologie, tout en cherchant à faire émerger les savoirs géographiques manquants. Enfin, nous avons vu que le Sénégal est actuellement présenté comme un des rares pays de l'Afrique subsaharienne à être susceptible d'atteindre l'objectif à long terme d'élimination du paludisme (RBM, 2010), alors même que le PNLP du pays indique que les incertitudes majeures sur la charge de morbidité et de mortalité palustres se trouvent dans la capitale, Dakar.

## Questionnements de recherche

Nous faisons l'hypothèse que la méconnaissance des mécanismes de transmission du paludisme urbain et l'absence de leur représentation dans l'espace contribuent à augmenter le risque épidémique en milieu urbain et permettent ainsi l'existence de hotspots de vulnérabilité, zones réservoirs infectieux susceptibles d'alimenter ce risque épidémique. La reconnaissance de ces foyers à risque, seraient un premier pas évident pour l'amélioration des conditions de vie des populations, le ciblage des populations les plus vulnérables par les programmes d'intervention sanitaire et l'évolution vers une situation d'élimination du paludisme. En d'autres termes, nous considérons le paludisme urbain comme un système pathogène dangereux, car difficile à surveiller et à contrôler. Les risques d'infection sont non négligeables dans un espace densément peuplé rendant explosive la déclaration d'une épidémie.

Découlant de cette première supposition, une hypothèse sous-jacente va diriger ces travaux. Elle consistera à démontrer que, par le truchement de l'exposition aux piqûres de moustiques qui favorise un réservoir parasitaire plus important dans les quartiers défavorisés, la vulnérabilité socio-économique des individus, c'est-à-dire la faiblesse de leurs capitaux économiques et sociaux, augmente grandement le risque d'infection au paludisme. Nous supposons en effet que la répartition spatiale des anophèles et des hommes, puisqu'elle n'est pas aléatoire dans l'espace, les rend interdépendants. Ces populations vulnérables socialement seraient plus souvent piquées. Des méthodes de traitements statistiques de données spatialisées ainsi que des méthodes de géostatistiques, pourront nous aider à valider ou infirmer cette intuition.

De surcroît, nous avons choisi de définir le risque d'infection au paludisme comme le fruit d'un franchissement de deux types de distances : la distance spatiale et la distance sociale. La distance spatiale correspond à l'écart qu'il existe entre les deux acteurs-clés du complexe : l'hôte et le vecteur. Elle représente une distance physique qui sépare l'homme des lieux de reproduction de l'anophèle. La distance sociale représente les moyens qu'a l'individu de s'écarter en quelque sorte des piqûres potentiellement infectantes, en s'éloignant du vecteur et des réservoirs de parasites. Cet éloignement n'est pas forcément synonyme de mouvement. Se protéger des piqûres, par exemple, peut revenir à mettre une barrière infranchissable entre soi et le moustique sans pour autant nécessiter une mobilité (utiliser une moustiquaire imprégnée d'insecticide, un pulvérisateur anti-moustique, la climatisation,...).

L'intérêt et l'originalité de ces définitions tiennent dans la place que nous souhaitons accorder au caractère social du risque palustre. En effet, la distance sociale à l'infection serait plus qu'une vulnérabilité sociale à l'infection, puisqu'elle agirait selon un double effet : le fait d'être vulnérable socialement entraîne le fait de ne pas avoir les moyens de se protéger contre l'espèce vectrice et l'infection palustre mais en plus, elle limite l'hôte humain dans ses possibilités de s'éloigner des espaces où les anophèles se concentrent. Elle agit donc sur la distance spatiale en la contraignant.



Si cette distance physique est la distance la plus étudiée dans la littérature, il serait donc judicieux de lui adjoindre cette autre forme de distance. Cela nous permettra justement d'interroger le lien et les interactions qui semblent exister entre les deux.

### **Démarche méthodologique envisagée**

Dans ce contexte où l'intérêt d'une connaissance poussée des mécanismes de transmission du paludisme en ville n'est plus à démontrer, la problématique de la thèse pourrait se résumer à la question suivante : comment faire la géographie du paludisme à Dakar ? La complexité du phénomène, du fait de son irréductibilité (chaque partie du système pathogène du paludisme étant nécessaire mais non suffisante au fonctionnement du système) associée à la faiblesse du dispositif de surveillance sanitaire sont les deux principaux obstacles à sa réalisation. Ces deux éléments ont trois conséquences.

Premièrement, l'étude d'un phénomène multidimensionnel implique la mise en place d'un protocole méthodologique qui respecte cette propriété. Les composantes du système pathogène doivent être étudiées indépendamment et ensemble, à l'échelle micro mais aussi macro. Le paludisme urbain nécessitera un éclairage multiple où chaque angle d'approche choisi permettra de diminuer les zones d'ombres qui planent sur son fonctionnement et ses manifestations.

Deuxièmement, les connaissances et les données dont nous pouvons disposer sur le système pathogène du paludisme à Dakar sont incomplètes et ne sont pas toujours fiables. Les orientations et les hypothèses que nous définissons au départ devront donc rester ouvertes et le cadre conceptuel élaboré majoritairement par inférence des prémisses les plus vraisemblables issues de la littérature, devra pouvoir être remis en question si nécessaire. La représentation du phénomène étudié sera construite, déconstruite et reconstruite progressivement, avec éventuellement des connaissances nouvelles.

Troisièmement, le contexte limité en données spatiales entraîne la nécessité de mobiliser des sources variées, afin de disposer d'éléments permettant d'établir des liens directs et indirects entre les caractéristiques des populations et des territoires et la géographie du paludisme. La récolte de ces données et les possibilités de croisement des sources seront au cœur du processus méthodologique.

Répondant aux exigences soulevées par ces trois points, nous avons choisi de nous appuyer sur un mode de raisonnement, l'abduction, formalisé par le philosophe C. Peirce et reconnu comme l'un des trois types majeurs d'inférence, avec la déduction et l'induction<sup>5</sup>. Dans un contexte scientifique, la démarche abductive au sens de Peirce désigne la capacité du chercheur à générer des hypothèses temporaires à partir de l'information incomplète dont il dispose. L'attitude du chercheur est celle de l'étonnement, celui-ci se laisse guider par la recherche de l'inattendu et peut laisser libre cours à sa créativité (Banos, 2013). Cette attitude est rendue possible dans une démarche d'exploration de données et d'application d'un ensemble de techniques statistiques utilisées dans un but plutôt de production que de confirmation d'hypothèses (Oliveau, 2011). Dans la continuité des

---

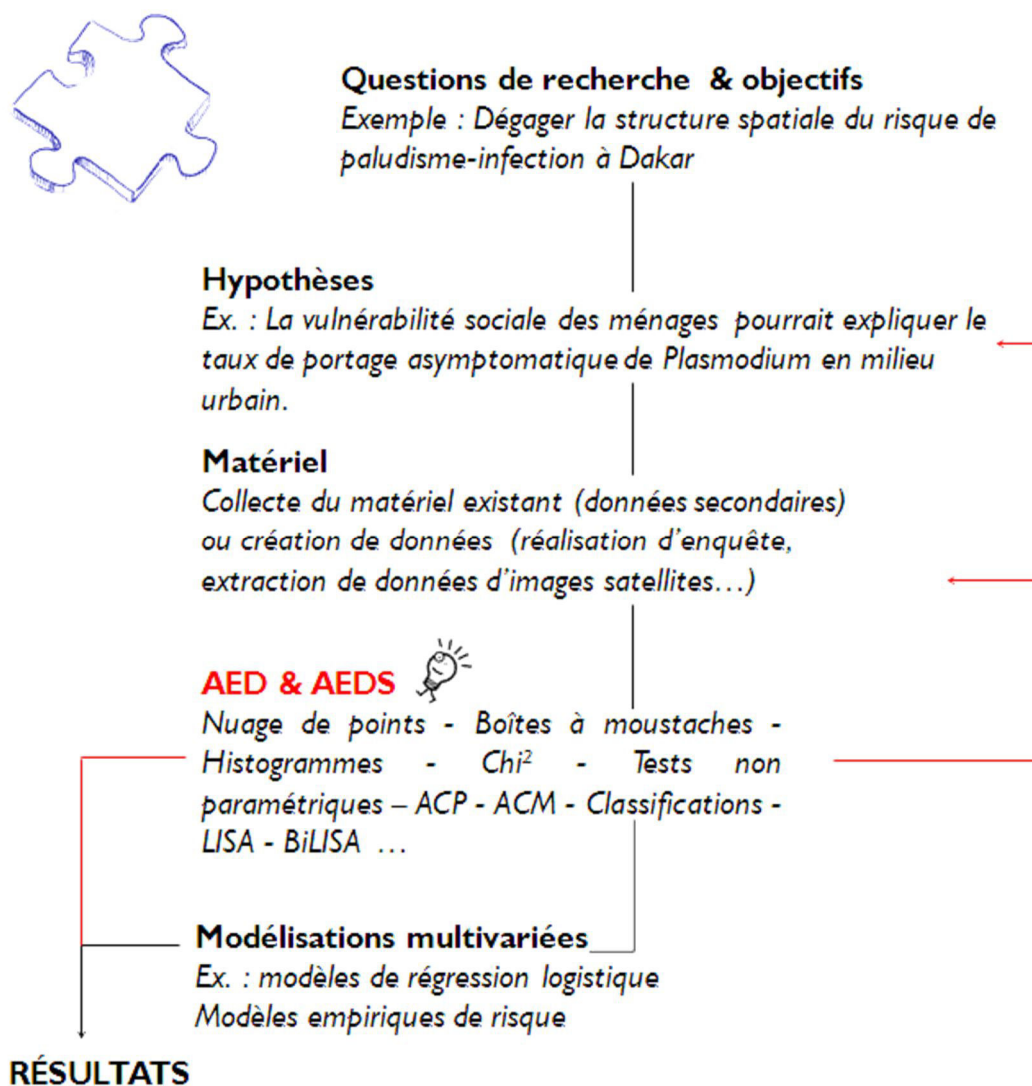
<sup>5</sup> Peirce, C. (1993). *A la recherche d'une méthode*. Recueil de textes traduits de Peirce sous la direction de Deledalle, E. Théétète éd.

travaux s'inspirant de l'analyse exploratoire de données (AED), nous avons donc basé notre approche méthodologique pour étudier la géographie du paludisme à Dakar, sur un panel de techniques quantitatives robustes, efficaces et souvent visuelles. L'AED est en effet une approche statistique utilisée pour analyser des ensembles de données, expliciter leurs structures et finalement (re)formuler des hypothèses. Certains modèles statistiques peuvent être également utilisés, mais l'AED sert surtout à mettre en valeur ce que les données peuvent dire au-delà d'une modélisation formelle ou d'une vérification d'hypothèse. Cette approche a été développée et promue par J. W. Tukey (1977). En outre, depuis la révolution géographique du système d'information du milieu des années 1980, la croissance rapide des bases de données spatiales a conduit au développement de l'analyse exploratoire de données spatiales (AEDS) (Banos, 2001). Ce sont principalement les membres du "Center for Spatially Integrated Social Science" (CSISS, voir Goodchild & Janelle, 2004) qui en ont été les promoteurs, et particulièrement L. Anselin (1994, 1996, 1999).

L'AED et l'AEDS interviennent à différentes étapes du processus de recherche. Elles jouent un rôle dans l'étape de prise en main des données, de leur nettoyage et de leur traitement. Les analyses exploratoires ont pour intérêt de filtrer l'information, afin d'en extraire temporairement les fluctuations les plus manifestement aléatoires et ainsi n'en retenir que les principales structures (Banos, 2001). Ces analyses permettent également, à la suite de ces traitements et de leur visualisation numérique et graphique, de réorienter, d'affiner ou d'ajouter de nouvelles hypothèses. Enfin, dans la continuation du processus de production de résultats par modélisation, ces explorations permettent de guider les choix de mise en œuvre d'un ou des modèles en fonction de ce qui en a émergé. Les possibilités de communication et de visualisation de chacune des analyses apportent également une transparence et une plus-value au protocole de recherche appliqué.

La figure suivante illustre la place de l'AEDS dans la démarche méthodologique et souligne les impacts (les flèches en rouge) sur les différentes étapes du cadre de recherche, décrits précédemment.

Figure 1 : Protocole de recherche envisagé



Concernant la mobilisation des données, les sources utilisées sont décrites au gré de leurs utilisations dans le corps du manuscrit. Elles sont de trois types :

- Images satellites
- Sources de données secondaires (recensement)
- Sources de données primaires (collectées au cours de deux programmes de recherche présenté en annexe du manuscrit)

Pour une présentation détaillée, le tableau suivant liste les cinq groupes de variables qui ont constituées le cœur des analyses.

**Tableau 1 : Présentation des données mobilisées**

Type	Couverture spatiale	Date	Sources
<b>Variables issues des images satellites de résolution spatiale 2.5 m</b>	Region de Dakar	2007 - 2008 – 2010	SPOT 5
<b>Variables socio-économiques et démographiques des ménages</b>	2000 Districts de Recensement (DR)	2002	RGPH - ANSD
<b>Variables socio-économiques, démographiques et comportementales des individus ou des ménages</b>	2952 ménages dans 50 sites d'études soit 120 DR différents	2008	Enquêtes ACTUPALU
<b>Taux de prévalence</b>	2427 femmes, 2231 enfants de 2464 ménages dans 50 sites d'études soit 120 DR différents	2008	Enquêtes ACTUPALU
<b>Taux d'agressivité modélisé issus de mesures entomologiques et environnementales</b>	1476 DR	1994 - 1997 - 2008 - 2010	Laboratoire d'aérologie

### Structuration de la thèse

Afin de répondre aux objectifs et questionnements explicités précédemment, nous avons structuré le manuscrit en trois parties, qui respectent les étapes logiques de la démarche de recherche : état des lieux et enjeux actuels de la recherche, données et méthodes appropriées pour appréhender le contexte d'étude et analyses et résultats des explorations.

La partie I intitulée : *de la maladie "des marais" à celle de la pauvreté : mécanisme de transmission du paludisme et distribution géographique globale*, se divise en trois chapitres respectifs :

- Chapitre 1. Le paludisme dans le monde : une maladie ancestrale
- Chapitre 2. Lecture d'un système pathogène complexe : présentation des éléments, état des modélisations existantes et spécificité du paludisme urbain
- Chapitre 3. De l'intérêt du raisonnement géographique sur un fait de santé - Enjeu et positionnement de recherche

Cette partie fait le bilan des connaissances que nous avons sur le paludisme (chapitre 1) et met à jour le schéma conceptuel du paludisme urbain et les manières dont il a déjà été modélisé (chapitre 2). L'état de la question ne pouvant se faire sans un positionnement de recherche argumenté, nous discutons de l'intérêt du raisonnement géographique sur une infection tropicale et sa place dans les orientations disciplinaires passées et présentes. La position du Sénégal et de Dakar comme contexte de recherche est également discutée (chapitre 3).

La partie II : qualifier les espaces urbains de l'agglomération dakaroise : identifier les sous-espaces de la ville pour éclairer les contextes à risque palustre, est constituée de deux chapitres :

- Chapitre 4. Approches classiques d'analyse du contexte urbain, le cas de l'agglomération Dakaroise
- Chapitre 5. Rechercher les paysages préférentiels du vecteur du paludisme à Dakar

Cette partie se présente comme un pont inévitable à franchir, afin d'atteindre le seuil de connaissances suffisantes pour appréhender le paludisme dans son contexte urbain. Elle se place telle une approche préliminaire incontournable pour étudier, par la suite, les contextes à risque de l'agglomération de Dakar. La collecte des informations et les techniques d'analyses qui sont utilisées, ne prétendent ici à aucune innovation par rapport aux travaux existants. Leur caractère classique et efficace est justement séduisant dans l'idée de fournir des informations préliminaires sur les sous-espaces urbains, encore inexistantes sur Dakar (chapitre 4). En outre, dans le cas du paludisme, les techniques de télédétection ont l'avantage certain de produire des données fines et localisées sur les paysages qui permettent de caractériser et d'identifier les macro-gîtes de reproduction anophélienne en ville. Nous les avons appliquées (chapitre 5).

La partie III : analyses et mesures des distances à l'infection : reconstruire le puzzle épidémiologique palustre dans l'agglomération dakaroise, est composée de trois chapitres :

- Chapitre 6. Le risque d'épidémie palustre "à mi-distance de la misère et du soleil"
- Chapitre 7. L'inscription spatiale du paludisme-infection. Effets des distances géographique et sociale
- Chapitre 8. Echelle individuelle, échelle agrégée : quelles distances sociales dans le risque palustre?

Cette partie finale regroupe les éclairages multiples qui ont été mis à l'épreuve afin d'avoir une vision la plus complète possible de la spatialisation du risque de paludisme-infection dans l'agglomération. Une reconstruction de la géographie du paludisme à Dakar par l'appréciation de ces déterminants est d'abord suggérée (chapitre 6), puis le double poids de la vulnérabilité sociale dans le jeu des interactions homme-vecteur est spécifiquement questionnés (chapitre 7). Enfin, l'utilisation et le croisement de données d'enquêtes socio-démographique et épidémiologique permettent d'éclairer le poids du social non seulement à une échelle agrégée, mais également à l'échelle individuelle, afin de renforcer les résultats de ces travaux (chapitre 8).

## PARTIE I

# DE LA MALADIE " DES MARAIS " A CELLE DE LA PAUVRETE : MECANISME DE TRANSMISSION DU PALUDISME ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE GLOBALE

## - ETATS DES LIEUX ET ENJEUX ACTUELS DE LA RECHERCHE -

*Cette première partie se propose de poser les bases du contexte d'étude. Maladie ancestrale, mondialement connue, la maîtrise du paludisme et sa prise en charge nécessitent constamment de nouveaux investissements sanitaires, sociaux et économiques. Les avancées médicales, les recherches en santé publique et en sciences sociales doivent s'ajuster aux nouvelles configurations pathogènes de la parasitose. Les enjeux de recherche évoluent au gré de ces changements et le discours scientifique, est parfois mêlé aux sphères politique, médiatique et populaire, impliquant une rencontre entre les savoirs experts et profanes<sup>6</sup>. Nous analysons les orientations de la recherche actuelle, afin de construire un discours cohérent sur l'état de la situation du paludisme urbain dans l'agglomération de Dakar au Sénégal, au vue de l'accumulation de ces connaissances générales établies.*

*"Notre monde c'est bien plutôt l'incertain, le changeant, le variable,  
l'équivoque, un monde dangereux peut-être, certainement plus que le simple,  
l'immuable, le prévisible, le fixe, tout ce que les philosophies antérieures,  
héritées des besoins du troupeau et des angoisses du troupeau, ont honoré  
par-dessus tout"*

*F. Nietzsche, La volonté de Puissance, tII, 1, IV, §548.*

---

<sup>6</sup> Bien que la malaria soit une maladie ancienne, connue et familière sous certaines latitudes, elle évolue dans un monde flou de connaissances et de savoirs : « les affirmations relatives à la simplicité du diagnostic de l'accès palustre, qu'on peut recueillir auprès des malades et des soignants, se délitent dès qu'on s'intéresse de plus près aux pratiques quotidiennes et aux difficultés rencontrées. Les incertitudes diagnostiques et curatives sont aussi nombreuses de la part des soignants que des malades. » (p. 282, Ndoye, 2008)





## CHAPITRE 1. Le paludisme dans le monde : une maladie ancestrale

L'histoire du paludisme est soupçonnée d'être concomitante à celles des hommes (Cox, 2002 ; Joy, Feng & Mu, 2003). Avant même d'être nommées paludisme ou malaria, les fièvres tierces ont sévit dans le monde entier. Il faut attendre la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, pour que l'aire de distribution de la maladie régresse. En effet, depuis la découverte de l'agent pathogène, le *Plasmodium*, par A. Laveran en 1880, des progrès scientifiques et techniques ont permis d'éradiquer la malaria dans de nombreuses régions du monde. Dans les années 30, deux découvertes majeures semblent même rendre possible son éradication. C'est en premier lieu la découverte d'un composé antipaludique en 1934 (la chloroquine), suivi de la découverte des propriétés insecticides d'un produit chimique : le DichloroDiphénylTrichloroéthane (le DDT) en 1939 (Cox & Abeku ; 2007). En 1955, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) lance donc une grande campagne d'éradication du paludisme : la stratégie est à la fois anti-vectorielle et chimioprophylactique (OMS, 1955). Mais si en Europe, au Moyen Orient et plus généralement dans les zones tempérées du globe, cela fonctionne bien, l'échec se fait rapidement sentir dans les régions tropicales, notamment humides (sur l'histoire du paludisme, voir notamment : Hay et al., 2004 ; Guerra et al., 2008 ; Wernsdorfer et al., 2009). Les perspectives d'éradication sont abandonnées et la parasitose continue de sévir, voire réapparaît dans des territoires où elle avait été maîtrisée. Si l'objectif de l'éradication est donc oublié pour un temps, ce terme est à nouveau usité depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle (OMS, 2008). Confrontant les connaissances accumulées petit à petit sur la chaîne épidémiologique du paludisme et les principaux tournants de l'histoire de cette pandémie, nous nous intéressons spécifiquement à la région du globe qui renferme la majeure partie de la charge morbide et létale : l'Afrique subsaharienne. L'exemple des études menées jusqu' alors sur le Sénégal, clôture cette contextualisation.

### 1 La chaîne épidémiologique du paludisme<sup>7</sup>

Dans le cas du paludisme, maladie vectorielle et parasitaire, l'agent pathogène, le *Plasmodium* est transmis à l'homme par le biais d'un vecteur, l'anophèle. L'existence de ce moustique requiert un environnement et des conditions climatiques précises (développement dans des zones humides (stade de développement aquatique de l'anophèle) et chaudes (température supérieure à 19°C environ). Le milieu tropical est justement propice au rassemblement des exigences écologiques du vecteur ainsi qu'au développement du parasite (Mouchet et al., 2004).

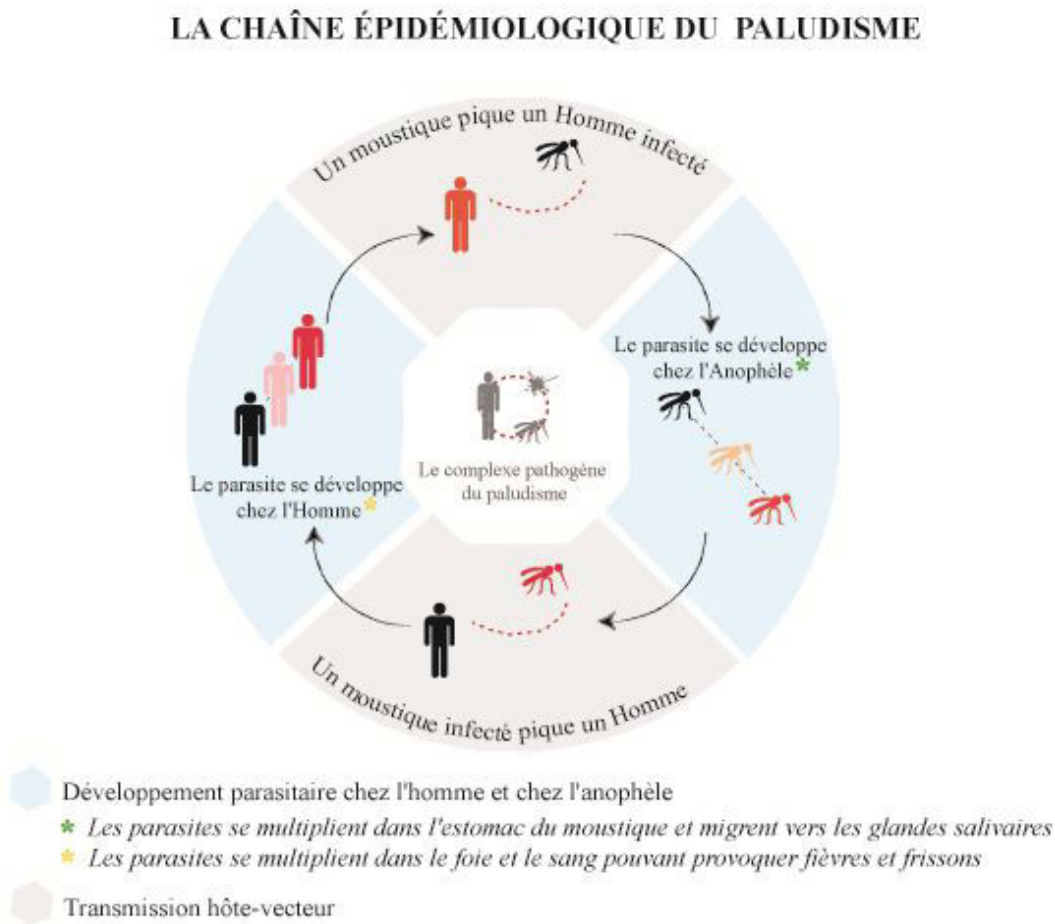
#### 1.1 Récapitulatif des caractéristiques de la transmission

La figure 2 représente le schéma général de cette chaîne épidémiologique, évoquée ici de manière circulaire. Cette chaîne se compose de deux maillons successifs principaux : la transmission homme-moustique et la transmission moustique-homme. Entre les deux, il y a une

<sup>7</sup> « La chaîne épidémiologique est un enchaînement de processus de développement et de transmission d'une maladie infectieuse. [...] Longtemps considérée comme une relation linéaire de cause à effet, la chaîne épidémiologique est une notion comprise aujourd'hui comme un processus dynamique d'interactions entre les maillons de la chaîne au sein d'un écosystème » (p. 63, Picheral, 2001).

phase nécessaire pour que le parasite se diffuse entre l'hôte et le vecteur : elle correspond au cycle sporogonique, c'est-à-dire le développement du parasite chez le moustique (Boudin et al., 1998). La transmission homme-moustique a lieu au moment où l'anophèle femelle (seule la femelle est hémaphroditique) ingère des *Plasmodium* lors d'un repas sanguin sur un homme infecté (c'est-à-dire porteur de gamétocytes infectants). La fécondation des gamètes a ensuite lieu dans l'estomac du moustique. Une fois formé en œuf, le parasite franchit la paroi de l'estomac et se multiplie pour finalement atteindre les glandes salivaires du moustique. Ce développement dure de 8 à 16 jours en fonction des espèces plasmodiales et de la température. Le moustique infecté, s'il vit suffisamment longtemps peut alors injecter ses parasites lors de nouvelles piqûres et commence un nouveau cycle de transmission moustique-homme. Ce dernier a lieu au moment où l'anophèle femelle infectée prend son repas sanguin sur l'hôte, ici humain, et lui inocule les *Plasmodium*. Via la circulation sanguine, les parasites se logent dans le foie, pénètrent les cellules et s'y multiplient. Les parasites retournent alors dans le sang et pénètrent dans les globules rouges. Ils se multiplient et parasitent de plus en plus de globules rouges. Cette phase déclenche la crise de paludisme.

Chez l'Homme, ce développement dure au minimum 8 jours, mais en absence de traitement, il peut perdurer plusieurs années. En outre, les espèces anophéliennes vectrices sont nombreuses et présentent des caractéristiques différentes (elles peuvent être anthropophiles et piquer de préférence l'homme, ou bien opportunistes et prendre un repas de sang sur d'autres vertébrés, comme le bétail. Elles peuvent également être endophiles ou exophiles selon qu'elles piquent à l'intérieur ou non des habitations,...). Il existe actuellement près de 500 espèces décrites (Harbach, 2004). Parmi ces espèces, 70 sont capables de transmettre les quatre types de *Plasmodium* et seulement 41 sont réellement considérées comme des vecteurs ayant un impact majeur en santé publique. En effet, les capacités vectorielles de l'espèce vont déterminer par exemple ses aptitudes à transmettre efficacement le parasite. C'est le cas de l'espèce africaine *Anophele Gambiae* dont la durée de vie et la forte préférence pour l'homme en font un vecteur particulièrement actif (Hay et al, 2010). De manière générale, ces espèces anophéliennes vectrices du paludisme piquent la nuit entre le coucher et le lever du soleil et ont tendance à rester près de leur lieu de naissance (à 400m environ) bien qu'elles puissent faire en transport actif jusqu'à 3 kms pour un repas de sang. La longueur de leurs déplacements va dépendre de ce qu'elles trouvent. En milieu urbain avec une forte densité humaine par exemple, elles piqueront les individus disponibles les plus proches. En revanche, ce que l'on nomme le transport passif peut amener l'anophèle loin de son habitat originel. Les conditions naturelles comme le vent mais aussi les mouvements de populations par divers moyens de transport orientent ses déplacements (Mouchet et al., 2004 ; Carnevale & Robert, 2009).

**Figure 2 : Représentation schématique de la chaîne épidémiologique du paludisme**

Il existe quatre espèces différentes de *Plasmodium*, le protozoaire parasite des cellules sanguines. *Plasmodium. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* et *P. falciparum*. L'espèce *Plasmodium falciparum* est responsable de la quasi-totalité des formes graves. En Afrique, cette espèce cause plus de 90% des infections plasmodiales. C'est le parasite le plus répandu au Sénégal et à Dakar. Il faut cependant faire une distinction clinique entre les cas simples de paludisme et les formes graves. En effet le paludisme est une maladie potentiellement mortelle et les cas compliqués se caractérisent par une atteinte simultanée de plusieurs organes. Le coma lors d'un neuropoludisme par exemple est un symptôme fréquent. Dans ces cas-là, le pronostic vital est engagé. *A contrario*, la plupart des cas simples peuvent être guéris sans séquelles lorsqu'un traitement efficace est prescrit. Les symptômes accompagnant la crise sont classiquement de fortes fièvres, des frissons et des céphalées. Ces signes détectables si communs à tant de maladies ne sont pas sans poser certains problèmes, décrits ci-dessous (Malvy et al., 2000; LeHesran, 2000 ; Rogier, 2004).

#### 1.1.1 Les signes pathognomoniques du paludisme

On dit d'un signe clinique ou d'un symptôme qu'il est pathognomonique lorsqu'il caractérise une seule maladie et par la même, permet d'en établir le diagnostic certain. Or dans le cas du

paludisme, il n'y a justement pas de signes pathognomoniques. Les aspects cliniques de la maladie peuvent déjà différer en fonction de l'espèce plasmodiale en cause et de l'état d'immunité du sujet. Les symptômes majeurs énoncés précédemment, l'accès fébrile par exemple, est l'apanage de nombreuses maladies. Il est donc important de confirmer ou d'infirmer le diagnostic d'un paludisme suspecté par un examen complémentaire du malade. Aujourd'hui ces tests sont facilités par la méthode des TDR (Tests de Diagnostic Rapide) qui sont des tests immunologiques dont le résultat est immédiat et ils peuvent être pratiqués directement (dans un centre de santé ou même chez le malade). Un diagnostic par un examen de sang du malade peut aussi être fait en laboratoire, c'est le cas du test de la goutte épaisse : un examen d'une goutte épaisse de sang du malade colorée au Giemsa est réalisé au microscope. Cette généralisation actuelle des TDR a permis de réduire massivement les cas de paludisme présomptif et de modifier la suspicion classique que toute fièvre en zone endémique est un paludisme. Par là-même, cela a mis en évidence des charges morbides liées à des maladies dont on ne soupçonnait pas l'importance (exemple de la borréliose et des rickettsioses). Enfin, cette pratique permettant de ne traiter que les cas avérés réduit également les risques de résistances des parasites aux médicaments puisqu'elle diminue la circulation inutile des combinaisons thérapeutiques. Si on pouvait donc s'attendre à ce que l'épidémiologie du paludisme soit bien connue depuis les découvertes de Laveran et de Ross, ce n'est en fait que très récemment que l'on s'est intéressé à son résultat : la morbidité et la mortalité avérées. Dans le contexte africain, c'est seulement depuis quelques années que les tests de diagnostics sont assez courants. Il faudra donc se méfier de la comparaison de la morbidité et mortalité attribuables avant et après leur mise en place (Rogier, Henry & Trape, 2009; Trape et al., 2012).

De plus, une distinction doit être faite entre ce que l'on nomme le paludisme-infection, le fait d'être porteur asymptomatique de parasite, et le paludisme-maladie : le fait de développer des symptômes. En zone d'endémie lorsque la transmission est fréquente et pérenne toute l'année, les populations peuvent présenter une forme d'immunité aux parasites et être "porteuses" ou "hôtes réservoir" sans avoir de manifestations cliniques au paludisme. L'encart suivant précise les modalités d'acquisition d'une immunité face à l'infection dans le cas des populations vivant en région endémique (voir par exemple, Rogier, Henry & Spiegel, 2004). Ceci est problématique dans la lutte contre le paludisme car réduire la transmission équivaut à trouver des méthodes d'évaluation et de contrôle de ce réservoir infectant. Or diminuer la transmission sans la stopper peut provoquer des changements épidémiologiques, entraînant par exemple un retard dans l'acquisition de l'immunité de ces populations qui ne sont plus exposées régulièrement. C'est le point de controverse autour de l'intérêt d'utilisation des moustiquaires imprégnées dans bon nombre de régions de l'Afrique tropicale (Mouchet et al., 1991; Trape, 2001). Pour pallier cela, la lutte antivectorielle doit s'accompagner d'une chimioprophylaxie efficace et facilement accessible à tous (entre autre dans le contexte sénégalais : Cissé et al., 2006; Sokhna et al., 2008). Enfin, d'autres comportements ont été observés depuis lors (dans le contexte Sénégalais, voir les études portées depuis plus de 30 ans sur les villages de Niakhar, Dielmo et Ndiop par exemple<sup>8</sup>) où l'introduction massive des moustiquaires

---

<sup>8</sup>Ces trois villages sont des stations d'études de l'IRD (l'Institut de Recherche et Développement). La station de Niakhar existe depuis 1962 et constitue le plus ancien système de surveillance sanitaire et démographique d'Afrique. Les stations de Dielmo et Ndiop existent depuis une dizaine d'années et ont été retenues comme villages pilotes pour

imprégnées à notamment favorisé un changement de comportement des anophèles qui ont tendance à piquer à présent plus tôt dans la soirée et surtout à l'extérieur (Trape et al., 2011).

### **Encadré 1 : Immunité et paludisme**

Dans les régions où le paludisme infection est très présent (principalement en Afrique subsaharienne), certains individus sont si souvent infectés qu'ils finissent, après plusieurs années, par être naturellement immunisés et tolérer le parasite. C'est ce qu'on nomme "l'immunité acquise". Ces personnes sont alors considérées comme porteuses asymptomatiques du parasite puisqu'elles ne présentent aucune manifestation clinique. Cependant, l'immunité ne confère pas de protection totale. Elle réduit le risque de troubles sévères suite à l'infection. Dans les zones endémiques, les formes graves de paludisme pouvant provoquer un décès ne touchent donc principalement que les jeunes enfants qui n'ont pas eu le temps de développer une immunité suffisante. En outre, cette immunité n'est jamais acquise sur la longue durée, elle est labile. En l'absence de piqûres fréquentes, celle-ci disparaît en 12 à 24 mois chez le sujet immun qui quitte la zone d'endémie. Ainsi, dans les régions non endémiques, la population n'est pas immunisée (voir notamment Rogier, 2003).

Ainsi, dans la lutte contre le paludisme, cette question d'immunité continue d'interroger les chercheurs face à la mise en place de méthodes ayant pour but de diminuer les contacts hommes-vecteurs. Le changement de régime épidémiologique dans un espace où le paludisme est endémique puis devient épidémique se caractérise par une diminution du risque de paludisme-infection mais une augmentation possible du risque de paludisme-maladie. Dans le cas du contexte général de l'histoire du paludisme au XX<sup>ème</sup> siècle, ces changements marquent des ruptures majeures dans l'évolution des problématiques ayant attrait à la lutte contre le paludisme. On a retracé ici les grandes lignes de l'histoire récente de cette parasitose mondiale.

## **1.2 Causalité et distribution de la pathologie : un siècle de découverte**

Le paludisme est l'exemple typique d'une maladie dont le traitement a été trouvé avant qu'on ne connaisse son origine réelle et son mécanisme de transmission. En effet, la quinine<sup>9</sup> devint le traitement de base de la malaria alors même que l'on pensait toujours que c'étaient les émanations des marais ou marécages qui provoquaient les fièvres. Les découvertes successives de A. Laveran et R. Ross dévoilent alors que cette maladie est en fait parasitaire et vectorielle. Cependant, les événements historiques liés à la Seconde Guerre Mondiale limitent la distribution de la quinine. L'occupation de l'Indonésie, premier producteur de quinquina, par le Japon en 1942 met fin à la fourniture en quinine du monde occidental. La recherche s'intensifie alors et la chloroquine (re)naît

---

étudier le paludisme. Ces stations permettent un suivi longitudinal des populations et constituent en cela des opportunités inédites d'étude du paludisme sur le long terme.

<sup>9</sup> Les indiens utilisaient l'écorce de quinquina, un arbre d'Amérique du sud, pour traiter les fièvres. La colonisation espagnole engendre la diffusion de ce traitement miraculeux (pour un certain type de fièvre) à toute l'Europe. C'est en 1820 que deux chimistes français isolent la quinine, l'alcaloïde le plus important du quinquina.

en France sous le nom de Nivaquine<sup>10</sup>. Actif tant dans la prévention qu'en prise curative, bon marché, le médicament promet de grands espoirs dans la lutte contre la maladie. Cette chimioprophylaxie efficace va compléter, avec la découverte du DDT en 1939 puis son utilisation massive dans la lutte antivectorielle, les stratégies d'action pour le programme d'éradication mondial du paludisme (GMEP : Global Malaria Eradication Programme) lancé par l'OMS lors de la 8<sup>ème</sup> Assemblée Mondiale de la Santé, en 1955. « L'OMS, en fournissant des supports et des conseils techniques, en encourageant les recherches et la mutualisation des ressources, s'engage à la mise en place d'un programme ayant pour objectif ultime l'éradication mondiale du paludisme »<sup>11</sup> (traduction proposée par l'auteur, p. 70; OMS, 1955). La frise présentée ci-dessous (figure 3) présente les dates clés de l'histoire du paludisme, auxquelles nous faisons référence au long de ce chapitre.

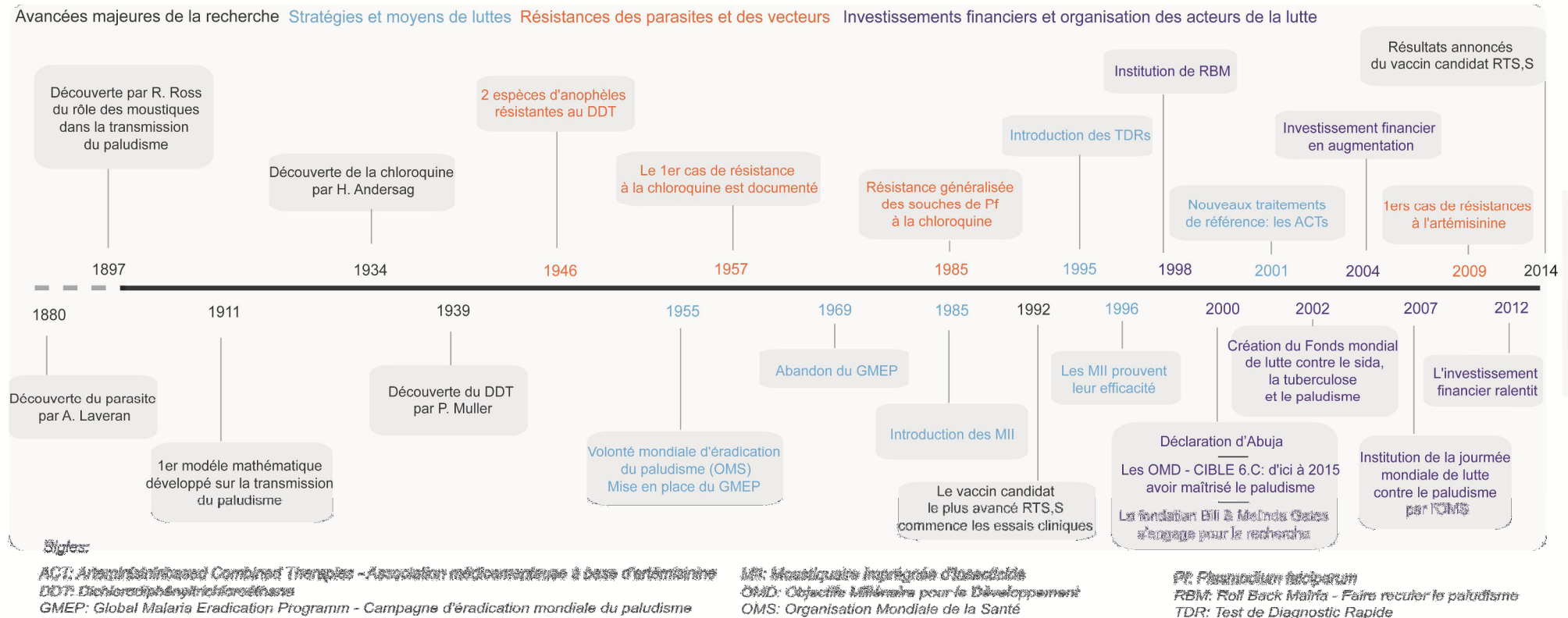
---

<sup>10</sup> Synthétisée pour la première fois en 1934 en Allemagne, la chloroquine, médicament pour le traitement du paludisme, est considérée au départ comme trop toxique. Les doses utilisées sont en fait trop élevées. Il faut attendre la fin de la Seconde Guerre Mondiale pour que le médicament remporte un franc succès.

<sup>11</sup> "The World Health Organization should take the initiative, provide technical advice, and encourage research and coordination of resources in the implementation of a program having as its ultimate objective the worldwide eradication of malaria"

Figure 3 : Frise simplifiée de l'histoire récente du paludisme

CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS MARQUANTS DANS L'HISTOIRE RECENTE DU PALUDISME



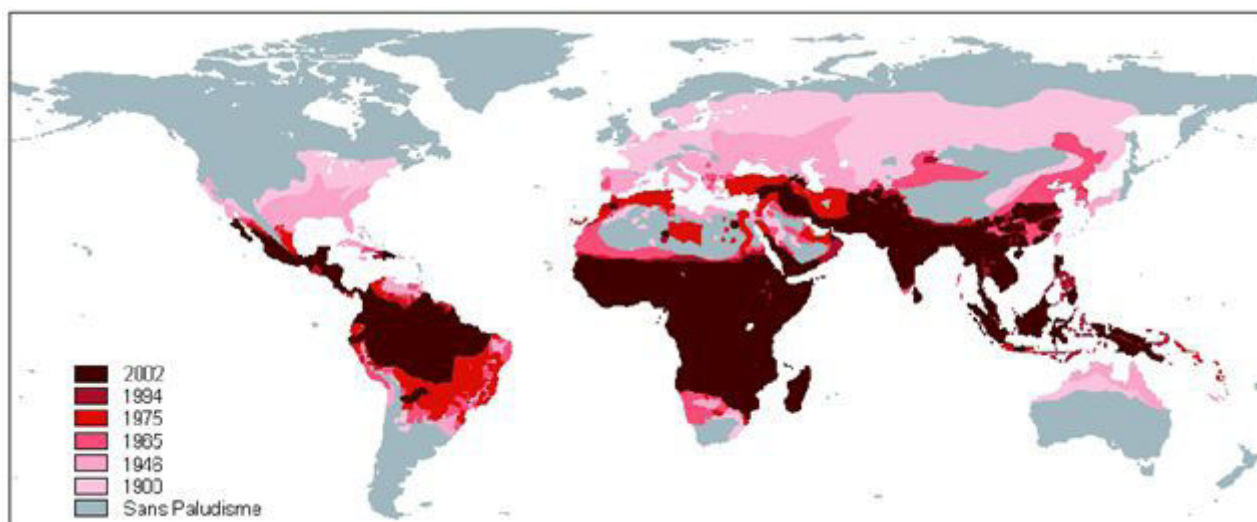
La mise en place de ce programme mondial par l'OMS en 1955 a été encouragée par la réussite de l'éradication du paludisme, principalement à l'aide du DDT, dans certaines régions du globe. C'est le cas par exemple des Etats Unis en 1952. En revanche, dans le plan global de lutte, il a été considéré dès le début du programme qu'il serait difficile d'éradiquer le paludisme dans les régions d'Afrique subsaharienne et en Nouvelle Guinée.

La durée prolongée des saisons de transmission, la prévalence très élevée des infections plasmodiales (haute endémicité), la difficulté d'accès à de larges proportions des populations autochtones et la faiblesse des infrastructures en sont les causes majeures. En dépit de ces contraintes, l'OMS a tout de même recommandé en 1950 d'utiliser autant que faire se peut ces moyens de lutte : le DDT et la chloroquine. Le DDT est rapidement abandonné. Cependant, les programmes ont été mis en place sans prendre en compte les conditions d'endémicité et sans attendre les résultats des recherches qui pourraient être menées sur le continent africain pour y adapter la lutte antipaludique (Najera, Gonzalez & Alonso, 2011; Snow et al., 2012). Le plan d'éradication a ainsi oscillé entre succès et échec, réduction de la pandémie à l'échelle globale et problèmes techniques et résistances à des échelles plus locales.

## 2 Les desseins de l'éradication

A mesure que le siècle avance, la superficie des zones impaludées diminue. Les progrès respectifs de la lutte antivectorielle et la diffusion de la chimioprophylaxie dans le cadre de plans stratégiques de lutte promus par l'OMS, ont provoqué l'élimination de la pathologie dans certains pays. Le GMEP (Global Malaria Eradication Programme) instauré de 1955 à 1969 a permis une réduction massive de la morbidité et de la mortalité aux quatre coins du globe. Le rétrécissement des aires impaludées fait finalement de plus en plus ressortir les logiques climatiques dans les persistances endémiques de la maladie, bien lisibles sur la figure 4, dans les zones encore sous le joug de la parasitose en 2002.

**Figure 4 : Distribution du paludisme dans le monde de 1900 à 2002 (d'après Hay et al., 2004)**





L'échec de l'éradication mondiale du paludisme ne se borne pas aux différences des conditions climatiques de chaque grande région biogéographique du paludisme. Dans ce cadre, une typologie est utilisée pour distinguer douze grands ensembles aux critères épidémiologiques et entomologiques communs (Macdonald, 1957). Car si les stratégies de lutte contre la pathologie n'ont pas les mêmes chances de réussite en chacune des régions – et doivent d'ailleurs être (ou auraient dû être dès le début) adaptées à leurs caractéristiques respectives, c'est aussi l'apparition des résistances au DDT et à la chloroquine dès les années 60 qui participe à l'échec de la baisse de la mortalité et de la morbidité sur le long terme (Verdraeger, 2005). Si les composants de la chaîne épidémiologique sont ainsi connus depuis plus d'un siècle, leurs interactions semblent présenter chaque jour des configurations inédites et rendent difficile le contrôle de l'infection. En ce sens, C. Rogier compare le paludisme à un jeu d'échec. Le nombre de pièces est limité, mais le nombre de leurs combinaisons sur l'échiquier semble infini (Rogier & Sallet, 2004). Très tôt, certains chercheurs ont pressenti que les solutions biologiques et médicales suffiraient difficilement à contenir la pandémie, qui se devait d'être perçue comme un problème illustrant parfaitement la complexité des rapports entre l'homme et la nature (Sorre, 1933; Lannou, 1936). Les problèmes techniques de l'éradication ont aussi très vite été des problèmes humains.

## 2.1 Les problèmes techniques de l'éradication : zoom sur l'Afrique tropicale

Malgré les difficultés liées à la mise en place d'un plan d'éradication en Afrique tropicale, la région n'a pas été exclue du programme global. Le continent payait et paie encore le plus lourd tribut en termes de mortalité mais aussi de morbidité. La longueur des saisons de transmission et l'exceptionnelle capacité vectorielle des espèces anophéliennes présentes sur le continent en sont des raisons majeures. La liste des problèmes techniques s'allonge. Les résistances aux insecticides de certaines espèces d'anophèle se diffusent rapidement. Par ailleurs, même des insecticides fonctionnels ne suffisent pas à stopper la transmission en zone d'hyper ou d'holoendémie. Les chances d'infestations des moustiques et leurs possibilités de survie à l'extérieur restent trop élevées (Mouchet & Hamon, 1963). En outre, les zones "à traiter" sont très vastes. Les paludologues de l'OMS disent alors de l'Afrique tropicale qu'elle est "une immense zone problème". Interrompre la transmission dans une zone pilote du programme d'éradication peut *de facto* avoir un intérêt limité si les zones contigües restent impaludées. Quelques années plus tard le paludisme pourrait réinvestir la zone, réintroduit par la circulation des parasites des zones voisines. Puisqu'aucune barrière géographique (autre que le Sahara) ou épidémiologique ne permet un découpage du travail, les actions ponctuelles, à micro ou méso-échelles, paraissent vouées à l'échec sur long terme (Mouchet & Hamon, 1963). La question des mobilités et des déplacements de populations engendrent également une difficulté de contrôle de la chaîne épidémiologique. Les populations de zones impaludées, réservoirs de parasites, peuvent se déplacer en zone d'anophélisme sans paludisme et provoquer des épidémies de paludisme dans des lieux où la population n'est pas ou plus immunisée. Dans le cas du milieu urbain que nous étudions plus en détails dans la seconde partie du chapitre, ce paludisme d'importation peut être fréquent. Il faut noter par exemple les grands déplacements réguliers ou fortuits des ouvriers de la campagne vers les zones urbanisées ou à l'inverse des travailleurs résidant en milieu urbain et travaillant à l'extérieur de la ville, qui contribuent à

l'introduction de parasites exogènes dans un milieu de faible transmission (Prothero, 1961). Dans la veine des facteurs à prendre en compte pour comprendre les lieux et les temporalités de la transmission, les habitudes locales des populations ont une place déterminante. Puisque les moustiques vecteurs piquent le soir et la nuit, les individus qui veillent tard dehors peuvent être sujets à une transmission extradomiciliaire. La seule protection des habitations ne suffit pas et doit être complétée d'une chimioprophylaxie de masse. C'est dans cette logique qu'une méthode de distribution massive d'antipaludique a vu le jour : la méthode Pinotti. Nous allons voir en quoi celle-ci, bien qu'intelligemment pensée au départ, a finalement rendu plus difficile encore l'éradication du paludisme.

### 2.1.1 Quand le complexe pathogène fait de la résistance

La méthode Pinotti utilise un procédé inspiré d'une technique utilisée avec succès dans le traitement préventif du crétinisme des montagnes. Cette maladie se rencontrait dans les régions montagneuses, notamment là où l'iode est pratiquement absent de l'eau de boisson et où la consommation de poisson de mer est quasiment nulle. Les populations présentent donc un déficit en iode qui peut entraîner un dysfonctionnement de l'activité de la glande thyroïde pouvant alors s'accompagner d'un goitre chez l'adulte et déclencher un retard intellectuel considérable chez l'enfant. Afin de palier ce déficit en milieu alpin, les Suisses eurent l'idée de ioder le sel de cuisine. Condiment universellement utilisé, la méthode ciblait donc le plus de monde possible. L'expérimentation de ce sel médicamenté fut couronnée de succès et fit disparaître progressivement le crétinisme des montagnes. Ce sel enrichi en iode est d'ailleurs devenu d'utilisation courante dans toute l'Europe (Verdrager, 2005). C'est dans l'intention de répliquer cette méthode-là, qu'un médecin sud-américain, le Dr Pinotti, proposa un dispositif pour faire de la Nivaquine- le médicament de synthèse le plus efficace et le moins coûteux pour prévenir ou soigner paludisme, un traitement de masse. L'idée était de proposer un sel médicamenté avec ce composé. C'est donc dans le contexte du programme global d'éradication du paludisme qu'eut lieu cette innovation. Elle venait compléter pleinement les espoirs de cette campagne de lutte alors même que les premières résistances au DDT étaient rencontrées. Deux projets importants de sel médicamenté furent lancés, l'un dans la région de Pailin au Cambodge, l'autre dans le bassin amazonien. C'est ici que les premières résistances du paludisme à *Plasmodium falciparum* à la chloroquine se manifestèrent. Le médecin JL. Verdrager alors témoin du développement des cas de résistance de *Plasmodium falciparum* à la chloroquine (voir par exemple, Verdrager et al., 1975; Verdrager, 1995) précise que l'OMS, désireuse de minimiser les problèmes de la résistance, interrompit finalement les programmes mais garda le silence sur l'utilisation du sel médicamenté. Nous avons effectué une recherche dans les archives de l'OMS afin de corroborer ces faits. Dans les archives concernant les documents relatifs au GMEP (Global Malaria Eradication Programme), nous avons cherché l'historique de la mise en place de cette méthode du sel médicamenté et ses conséquences. La majorité de ces archives est aujourd'hui numérisée et disponible en ligne<sup>12</sup>. La collection comprend plus d'un millier de documents, tant des rapports techniques ou de comités d'experts que les documents porteurs des lignes directrices des programmes et actions menées entre 1947 et 2000.

---

<sup>12</sup> [http://www.who.int/malaria/publications/atoz/whomal\\_2012.1119/en/index.html](http://www.who.int/malaria/publications/atoz/whomal_2012.1119/en/index.html)

Dans le tableau 2, nous récapitulons les documents qui font référence à la méthode soit en citant le passage de référence à celle-ci dans le rapport, soit, pour le dernier document, en résumant la teneur du rapport spécifiquement porté sur la question.

**Tableau 2 : Extraits des documents faisant référence à la méthode Pinotti**

Titre du document	Date	Extraits ou résumé du document
10 <sup>ème</sup> assemblée mondiale de la santé.  Eradication du paludisme, Rapport sur la mise en œuvre des résolutions WHA8.30 et WHA9.61	13 mai 1957	« Les médicaments peuvent d'autre part rendre possible l'éradication du paludisme dans les régions où les insecticides sont peu efficaces ou reviennent exagérément cher. Le Service de la Santé publique des Etats -Unis a aimablement accepté d'entreprendre sous les auspices de l'OMS une expérience portant sur des volontaires et consistant à substituer au sel ordinaire dans l'alimentation quotidienne un sel additionné soit de pyriméthamine soit de chloroquine puis à inoculer la souche Chesson de <i>P. vivax</i> . Dans l'ensemble, les résultats ont confirmé ceux qu'avait obtenu l'initiateur de la méthode, le Dr M. Pinotti (qui n'avait toutefois employé que du sel chloroquiné à l'exclusion du sel à la pyriméthamine); il apparaît donc désormais que L'OMS pourrait, dans certains cas particuliers, recommander l'utilisation de sel médicamenteux lorsque cette mesure est nécessaire pour la prophylaxie collective du paludisme » (p. 6).
13 <sup>ème</sup> assemblée mondiale de la santé – Procès-verbal provisoire de la 1 <sup>ère</sup> séance	17 mai 1960	« La distribution de sel médicamenteux (méthode de Pinotti) continue de donner des résultats satisfaisants dans la vallée de l'Amazone. Cette méthode est actuellement appliquée dans une zone d'essai en Nouvelle-Guinée néerlandaise ; d'autres essais sont projetés ailleurs » (p. 7).
Activité de l'OMS en 1960 Rapport annuel du directeur général Actes officiels de l'OMS n°105	Décembre 1960	« L'administration systématique de médicament est recommandée [...] uniquement dans les régions où il est apparu sans conteste que les pulvérisations à effet rémanent ne suffisent pas, à elles seules, à interrompre la transmission du paludisme. Les bons résultats obtenus au Brésil avec un sel médicamenteux, selon la méthode de Pinotti, ont amené l'adoption de ce système dans des zones d'essai en diverses parties du monde » (p. 4).  Essai de sel médicamenteux (méthode Pinotti), Pailin, Province de Batambang, Cambodge (juillet 1959 - ).Objet. «Evaluer l'utilité du sel médicamenteux pour interrompre la transmission du paludisme dans les zones où les pulvérisations d'insecticides, à elles seules, ne sont pas suffisantes » (p. 186).
Procès-verbal de la 14 <sup>ème</sup> assemblée mondiale de la Santé	9 mars 1961	« La République Centrafricaine s'intéresse vivement à la méthode Pinotti pour élaborer un programme d'éradication » (p. 15).

Actes officiels de l'OMS – Activité de l'OMS en 1962 Rapport annuel du directeur général	Mars 1963	« WPRO 68 Essai de distribution de sel médicamenté (méthode de Pinotti), Païlin, [...] (mai 1959, juillet 1959-déc 1962) CSEP » (p. 152).
WHO traitement suppressif du paludisme par le sel médicamenté au Tanganyika par le Dr D.F. Clyde	27 février 1964	Résumé du document : ce rapport précise les zones où la méthode Pinotti a été appliquée et quelles furent les mesures prises. (Au Brésil, en Iran occidental, au Cambodge, en Guyane britannique et au Ghana). Il a pour objectif de rapporter les informations utiles récoltées dans ces lieux (le meilleur dosage, les solutions techniques) pour que la transposition de cette méthode en Tanganyika se passe au mieux.

Nous ne trouvons aucun document qui parle de la méthode des sels médicamentés entre 1964 et 1966, alors que des cas de résistances sont déjà suspectés et avérés. En 1966 et en 1968, on trouve les derniers rapports publiés et mis en ligne par l'OMS à parler de cette méthode. Ils sont de deux catégories. Il y a ceux qui soulignent l'aspiration de certains pays à mettre en place de nouveaux projets de sel médicamenté (on retrouve quatre projets en 1966 dont un en Ouganda et un en Tanzanie) et ceux qui font état de l'apparition de la chloroquino-résistance. En 1966, la méthode des sels médicamentés est arrêtée en Guyane Britannique et en 1968 sort un rapport revenant sur l'apparition de la chloroquino-résistance en Thaïlande et au Vietnam dès 1963. Dans la bibliographie générale, on retrouve d'autres dates auxquelles se manifestent les premières résistances à la chloroquine. Suspectées au Vénézuëla en 1960, elles se confirment en 1961 en Colombie, en 1965 en Thaïlande et en 1979 au Kenya et en Tanzanie (Fogh et al., 1979; Campbell et al., 1979). Si l'apparition de ces résistances est liée en partie au moins à la distribution massive du sel médicamenté à la chloroquine dans ces zones d'endémie, on peut dire que l'information est restée assez peu accessible. Le complexe pathogène du paludisme est donc tenace, dans les zones d'endémies notamment, et nécessite pour son éradication, une combinaison d'actions éventuellement renouvelée pour parer aux résistances tant du vecteur que du parasite. De cela, découlent les leçons à tirer de l'échec du programme d'éradication. Les acteurs de la lutte contre le paludisme sont contraints de repenser leurs stratégies et les méthodes à employer pour un contrôle de la pandémie sur le long terme. Dans le même temps, une notion émerge dans le milieu de la santé. On commence à parler de lutte intégrée contre le paludisme.

### 2.1.2 Etre sur tous les fronts : de la lutte anti-vectorielle à la gestion intégrée

Il est fréquent dans le cas des maladies vectorielles d'entendre parler de lutte intégrée, voire de programme, de campagne ou de gestion intégrée. Cette déclinaison de notions est justement importante notamment par les changements d'acception qu'elle recouvre. Ceux-ci sont en effet symptomatiques de l'évolution des stratégies de lutte contre la maladie et la prise en compte de sa complexité. La notion apparaît à la fin des années 1950. C'est à partir d'observations sur les conséquences néfastes des traitements chimiques répétés en grandes cultures, que des entomologistes formulent le concept de lutte intégrée. Celui-ci sert alors à désigner l'association des

moyens de lutte chimique et biologique misent en œuvre contre les arthropodes ravageurs des cultures (Stern et al., 1959). Au départ, l'originalité du concept tient dans le respect d'un seuil économique de nuisibilité. C'est-à-dire qu'il ne s'agit pas d'éradiquer par une lutte chimique les organismes nuisibles (du type moustiques dans notre cas d'étude) mais d'estimer un niveau de population suffisant pour que celle-ci puisse survivre mais sans pouvoir créer de graves nuisances (Ferron, 1999). Sur le plan international, le concept de lutte intégrée est adopté en 1967 (en anglais, "integrated control" peut être utilisé, mais il est plus fréquent de trouver la forme dérivée de la notion sous l'acronyme d'IPC "Integrated Pest Control" qui souligne que l'expression concerne tout type d'organismes nuisibles). La définition fondatrice de la lutte intégrée se résume ainsi : un système de gestion des populations d'organismes nuisibles, en fonction de critères économiques, par l'intégration et non la juxtaposition de toutes les techniques connues aux facteurs naturels de régulation (FAO, 1968). Il faut alors attendre quelques années pour que le domaine médical s'empare de ce concept via la lutte anti-vectorielle. Dans ce cas, elle se définit similairement comme une utilisation concomitante de tous les outils disponibles afin de limiter les risques de transmission vectorielle en agissant tant sur le développement du vecteur lui-même qu'en cherchant à réduire les interactions hommes-vecteurs. Mais la lutte intégrée devient très vite l'objet de controverses, de débats sur sa faisabilité et son efficacité (Mouchet, 1986). Les méthodes supposent en effet que leur utilisation ne soit ni néfaste à l'environnement ni toxique pour la santé humaine tout en restant efficace (c'est-à-dire parer aux éventuelles résistances des populations nuisibles aux outils utilisés). A cela s'ajoute l'idée qu'elle puisse être pratiquée par les populations et qu'elle doit donc être acceptée socialement, culturellement et économiquement. C'est à partir de là que l'évolution du concept devient réellement intéressante, notamment parce qu'il sous-tend les deux problématiques majeures de la lutte contre le paludisme. D'un côté, cette maladie ne peut être éradiquée sans la mise en place d'une stratégie globale prenant en compte les diverses techniques existantes et mobilisables qui agissent à différentes échelles et niveaux d'acteurs. De l'autre, cette stratégie doit faire face et incorporer la multitude de déterminants complexes de la transmission palustre (que ce soit des critères sociaux, environnementaux, parasitologiques,...) tout en restant simple, efficace et viable économiquement. Rien ne sert en effet de concevoir de nouvelles méthodes de lutte ou d'élaborer des programmes de prévention innovants, s'ils ne sont pas utilisés ou mis en œuvre par les populations selon les modalités recommandées. L'utilisation réelle des moyens de lutte et de prévention dépend bien *in fine* de l'acceptation de leur insertion dans l'univers domestique des populations (Mwenesi, 2005). L'acception du concept de lutte intégrée s'est alors élargie, débordant du cadre *stricto sensu* de la lutte anti-vectorielle. A la lecture de différents programmes de lutte actuels contre le paludisme à des échelles nationales ou régionales par exemple, on peut se rendre compte que l'utilisation du qualificatif " intégré" recouvre généralement des actions diverses faisant appel tant à la lutte anti-vectorielle qu'au volet curatif, à celui qui touche la prévention, la sensibilisation citoyenne ou encore la formation des professionnels de santé. Cela recoupe finalement au plus près le sens de l'action d'intégration. On incorpore dans un même ensemble différentes techniques de lutte qui concourent à une même stratégie, ici, celle de diminuer puis éliminer le paludisme. Pour ce faire, la lutte doit porter sur les aspects antivectoriels ainsi que sur les comportements des populations humaines dans la gestion de leur environnement, leur mobilité, leurs pratiques de recours aux soins. Enfin, la notion de gestion intégrée peut

également comprendre l'idée d'une stratégie qui pourrait lutter contre plusieurs maladies. L'OMS insiste en effet sur le fait que la gestion intégrée pourrait réduire simultanément l'incidence de deux maladies ou plus, par exemple en faisant en sorte que les efforts de lutte aient des effets synergiques. Ainsi, l'impact pourrait être plus efficace sur la santé publique qu'il ne le serait avec des programmes de lutte dirigés contre une seule maladie (OMS, 2011). Ces méthodes de gestion intégrée ont été aujourd'hui mises en place un peu partout mais, entre l'abandon du programme d'éradication et l'organisation de la lutte de manière "intégrée", une vingtaine d'années depuis s'est écoulée, marquée par l'exploration de nouvelles voies pour contrecarrer la pathologie et éviter ses résurgences.

### 2.1.3 Vers le contrôle de la maladie

L'histoire récente du paludisme pourrait donc se résumer en quatre phases majeures :

- Entre le début et le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle : la chaîne épidémiologique palustre est dévoilée, les recherches avancent et promettent des avancées majeures dans la lutte contre le paludisme (notamment la découverte du DDT et celle de la chloroquine).

- Devant les succès enregistrés par les premières campagnes de pulvérisations intra-domiciliaires de DDT, l'OMS lance en 1955 sa campagne mondiale d'éradication du paludisme. C'est la seconde phase majeure. Ainsi, entre 1950 et 1970, le paludisme régresse considérablement dans de nombreuses régions du monde. Mais, devant l'incapacité d'atteindre l'éradication mondiale et l'élimination dans certaines régions, la campagne est mise en échec et les mesures prises sont parfois abandonnées.

- Les trente années suivantes, la situation est marquée par une réduction des ressources mobilisées pour le contrôle de la maladie. La crise des années 70 dans les pays de l'OCDE (L'Organisation de Coopération et de Développement Économique) ajoutée à la prise de conscience que le contrôle du paludisme dans les régions notamment endémiques doit s'envisager sur le long terme, engendrent un désinvestissement des bailleurs de fond. La grande majorité des pays où l'éradication avait été un échec, sont victimes de flambées épidémiques. Ce relâchement des mesures et la généralisation des résistances des souches de *Plasmodium falciparum* à la chloroquine en sont les causes premières.

- Enfin, dans les années 90 les acteurs se remobilisent et les recherches promettent à nouveau de bonnes nouvelles (un vaccin à l'essai, la création de RBM (Roll Back Malaria<sup>13</sup>), les laboratoires pharmaceutiques se tournent vers l'artémisinine qui devient le nouvel espoir de traitement de base efficace contre le paludisme). En 2000, le contrôle du paludisme est annoncé dans les OMD (Objectif Millénaire pour le Développement), et lors de la déclaration d'Abuja, un nouveau plan d'action est discuté. De nouveaux acteurs investissent massivement dans la recherche et dans la lutte contre la pathologie. Les pays partenaires de RBM se dotent de plans nationaux de lutte contre le paludisme et de feuilles de route afin de planifier les moyens nécessaires pour faire évoluer la situation épidémiologique et tendre vers le contrôle puis l'élimination du paludisme (RBM 2011).

---

<sup>13</sup> On rencontre parfois la traduction en français de l'initiative : Faire reculer le paludisme.

En 2008, un nouveau plan mondial ambitieux destiné à lutter contre le paludisme naît : le GMAP (Global Malaria Action Plan). Ainsi, sur ces cinq dernières années la réduction de la mortalité et de la morbidité liées au paludisme est largement perceptible et tous les espoirs sont à nouveau permis. Cependant, dans l'objectif de penser un plan d'action sur le long terme, ce changement de contexte épidémiologique qu'implique la phase de contrôle du paludisme, nécessite une vigilance permanente, une constance des bailleurs de fonds, un maintien des méthodes de lutttes employées et des alternatives en cas d'échec de certaines méthodes (Hay et al., 2004; Feachem et al., 2010). Illustrons ce nouveau contexte par l'exemple du Sénégal.

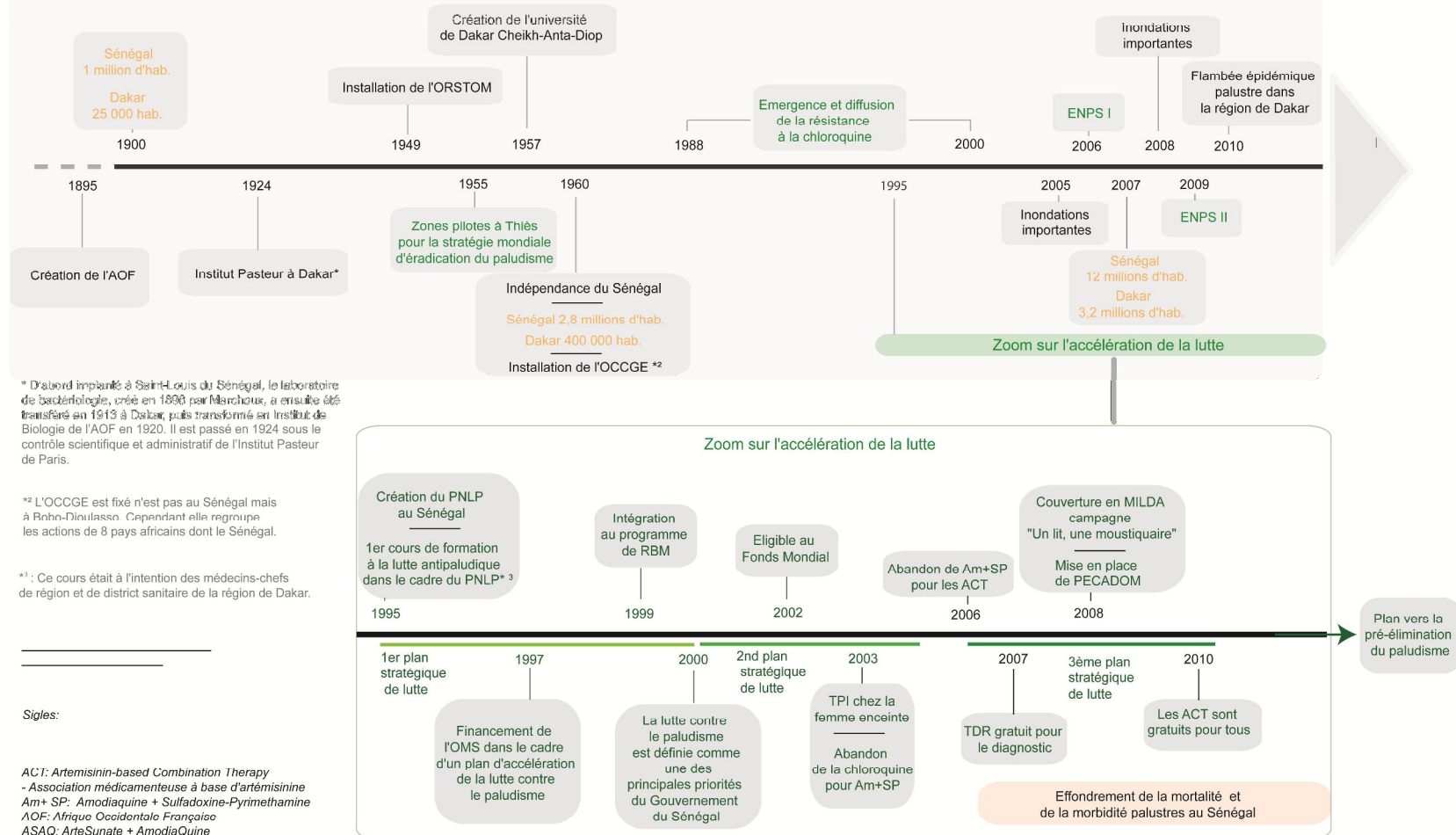
## 2.2 Repères épidémiologiques et situation du Sénégal

Dans le cas du Sénégal, les efforts pour contrer la maladie se sont multipliés et organisés sur cette dernière décennie, notamment depuis l'instauration d'un Plan National de Lutte contre le Paludisme (PNLP). Voyons plus précisément dans quel cadre la lutte s'est accélérée au Sénégal, comment et dans quelle mesure peut-on interpréter les résultats engendrés. Dans une logique de planification des actions importantes mises en place dans le cadre de la lutte contre le paludisme portées au Sénégal, nous proposons en figure 5, une frise chronologique simplifiée, cette fois-ci spécifique à la situation du pays étudié. Afin de mieux contextualiser et saisir la problématique, nous avons représenté les événements historiques ayant eu un impact plus ou moins direct avec l'histoire du paludisme ainsi que trois repères dans le temps d'estimation de la population au Sénégal et dans la capitale.

Figure 5 : Frise chronologique simplifiée du Sénégal

CHRONOLOGIE DE L'HISTOIRE RECENTE DU PALUDISME AU SENEGAL

Repères historiques et événements marquants    Stratégies et mise en place de la lutte    Estimation de la population du Sénégal et de Dakar





### 2.2.1 La place du Sénégal : terrain de jeux et d'enjeux

Le Sénégal est un pays soudano-sahélien situé à l'extrême ouest du continent africain (voir figure 6). En 2007, la population est estimée à 11,5 millions et la densité moyenne est de 59 habitants au km<sup>2</sup>. Un quart de la population vit dans l'agglomération de Dakar, la capitale (ANSD, 2008). Le profil épidémiologique palustre du pays est caractérisé par une endémicité stable, marquée par une recrudescence saisonnière et une létalité importante dans les formations sanitaires et dans les ménages (Ndiaye & Ayad, 2009).

**Figure 6 : Situation géographique du Sénégal**



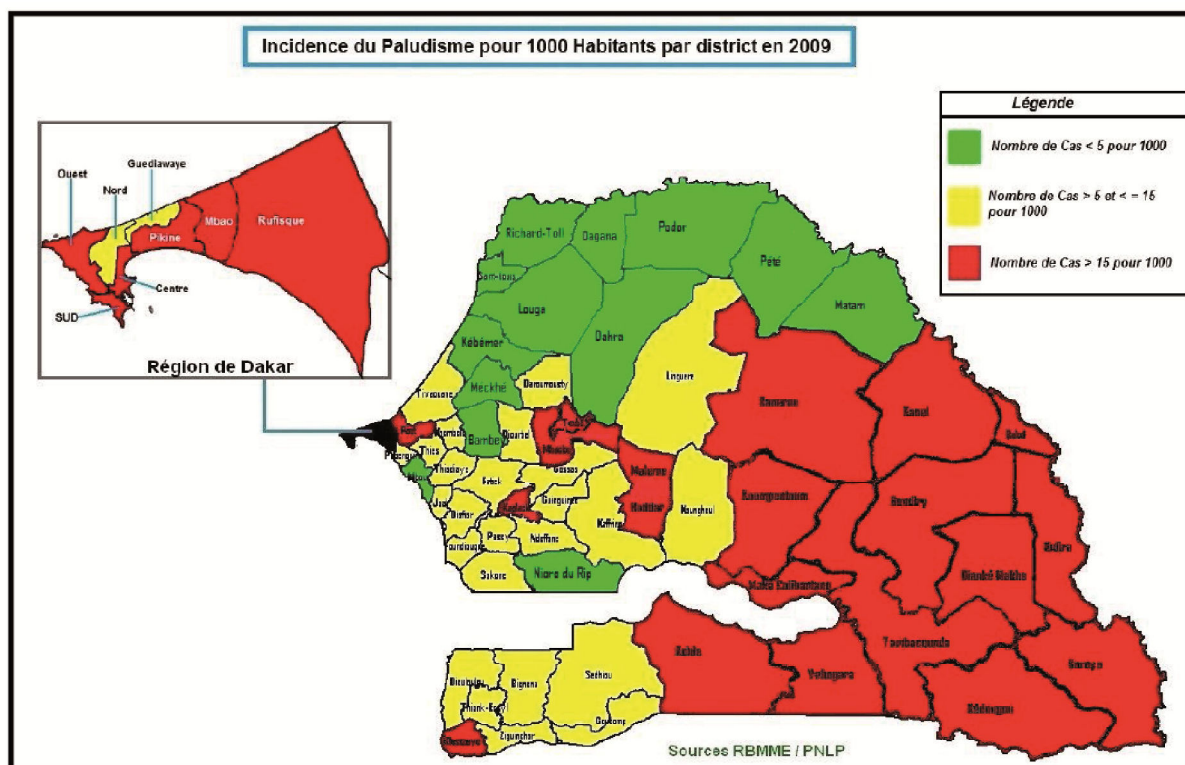
Le Sénégal est un pays d'étude, notamment pour les chercheurs francophones, qui n'est pas singularisé par son originalité, au contraire. L'histoire du pays et ses relations avec la France en sont une des raisons majeures (Robert, Molez & Becker, 1997). La vie de la recherche française au Sénégal a été fortement liée à la colonisation et relève d'un passage souvent commun aux chercheurs de géographie tropicale, qui ont fait du pays leur terrain d'étude (Knafou, 1997). Sa position carrefour dans les colonies françaises - il abrite de 1895 à 1960 la capitale de l'Afrique Occidentale Française (AOF)<sup>14</sup>, sa décolonisation pacifique et la

<sup>14</sup> D'abord à Saint-Louis jusqu'en 1902 puis à Dakar jusqu'à l'Indépendance.

proximité géographique du pays par rapport à d'autres colonies (le Congo Brazzaville et Madagascar par exemple), ont facilité la vie des chercheurs français et ont contribué à la mise en place de structures de recherche en lien avec la métropole, qui petit à petit pour certaines, ce sont nationalisées (Chailley, 1968 ; Gaillard & Waast, 1988). Les services majeurs de recherche-action en Afrique de l'ouest impliqués dans la lutte contre le paludisme ont été chronologiquement les suivants : « les services médicaux de la période coloniale, le service général d'hygiène mobile et de prophylaxie, les structures sanitaires nationales après les indépendances, les services des grandes endémies, l'OMS. Les structures de recherche sont essentiellement : les Instituts Pasteur d'Outre-Mer (en particulier celui de Dakar, créé en 1924), l'ORSTOM (l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) œuvrant sur le thème du paludisme dès 1947 à partir de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso), l'OCCGE (Organisation de Coordination et de Coopération pour la lutte contre les Grandes Endémies) (créée en 1960), les grandes instances internationales proches de l'OMS comme TDR (Tropical Diseases Research, la section spécialisée dans les maladies tropicales), et également les universités nationales (comme par exemple Dakar et Bamako) qui ont permis l'émergence sur la scène internationale d'équipes de chercheurs maintenant composées uniquement de nationaux » (p. 1176, Robert, Molez & Becker, 1997). Pour autant, l'Afrique de l'ouest et spécifiquement le Sénégal n'ont pas servi de décor aux découvertes historiques majeures de la recherche contre le paludisme que ce soit sur le plan du parasite et de sa transmission ou sur le plan du traitement de la maladie. Ils se sont cependant illustrés sur la continuité des travaux qui ont eu lieu depuis lors et ont formé un cadre incontournable pour de nombreux travaux de parasitologie et d'entomologie. Les contributions élaborées sur ces terrains ont été essentielles aux travaux de recherche et de lutte antipaludiques (Ndoye, 2008). L'évolution d'une part des idées générales sur le paludisme et d'autre part ces structures successives qui ont fonctionné en Afrique de l'ouest, ont clairement influencé le développement des recherches et ébauché les principes actuels de la lutte antipaludique. Comme nous avons pu le noter sur la frise chronologique sur le Sénégal (figure 5), les mesures prises pour lutter contre le paludisme se sont accélérées à partir des années 90. Cela correspond à l'élaboration en 1995, d'un PNLP (Programme National de Lutte contre le Paludisme) dont les activités ont été intégrées dans le Plan National de Développement Sanitaire (PNDS) 1998-2007 et le Programme de Développement Intégré de la Santé (PDIS). A partir de ce moment-là, plusieurs plans stratégiques de lutte se succèdent. Lors du 1er plan (1995-2000), le pays est intégré à plusieurs initiatives mondiales notamment en 1999, celle de RBM, lancée conjointement par l'OMS, la Banque Mondiale, l'UNICEF et le PNUD en 1998. Le pays bénéficie alors de financement dans le but d'accélérer la lutte. Les Assises Nationales sur la Santé identifient, en juillet 2000, la lutte contre le paludisme comme une des principales priorités du Gouvernement du Sénégal. En outre, les financements dans le cadre du Fonds Mondial de lutte contre le SIDA, la tuberculose et le paludisme se succèdent entre 2003 et 2008. Le plan actuel, 2011-2015, s'intitule "vers la pré-élimination du paludisme". Il envisage la complète élimination de la pathologie au nord et la pré-élimination dans les zones sud-est et centre, en

fonction des résultats obtenus précédemment. Dans le dernier rapport statistique<sup>15</sup> disponible du PNLP, la carte suivante nous présente l'incidence du paludisme pour 1000 habitants en 2009, pour chaque district sanitaire. Il est remarquable que les zones encore impaludées dont les taux restent au moins trois fois supérieurs au seuil épidémiologique de pré-élimination, soient la région de Dakar et les régions de l'est, principalement Tambacounda, Kedougou, Kolda. Les disparités régionales sont donc fortes et nécessitent une adaptation des plans de lutte à chaque profil épidémiologique. Nous nous intéressons justement par la suite à la situation dans la région de Dakar, qui appartient, dans la majeure partie de son territoire, aux zones où se cumule le plus grand nombre de cas de paludisme.

**Figure 7 : Extrait du rapport 2010 du PNLP, Sénégal**



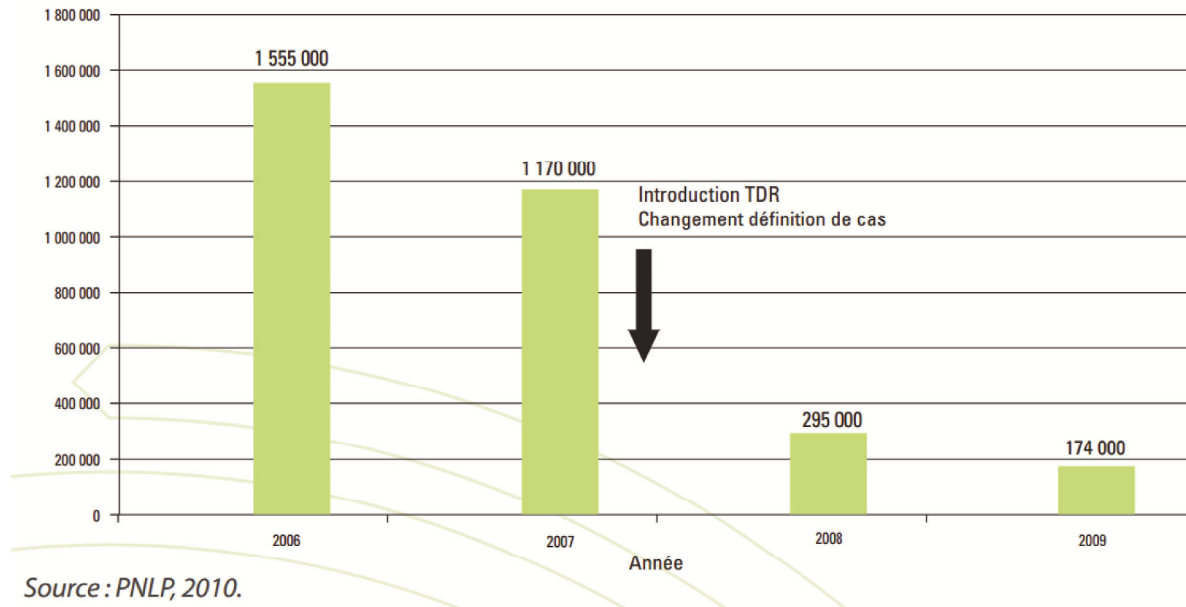
En outre, dans l'objectif de percevoir la baisse drastique de la morbidité palustre dans le pays sur cette dernière décennie, nous avons choisi de reprendre un graphique<sup>16</sup> fourni également par le PNLP et repris dans le rapport de RBM de 2010, qui fait le point sur la situation palustre au Sénégal. Ce rapport avait été l'occasion pour les organismes de présenter le Sénégal comme "un bon élève" et de le décrire comme candidat sérieux pour l'objectif à

<sup>15</sup> Nous faisons, par la suite, un point sur les données proposées par le PNLP. Compte tenu des incertitudes quant à leur qualité et des biais certains lors de leur collecte, nous présentons cette carte, non pour le détail de l'indicateur, mais pour l'ordre de grandeur des disparités entre les différents districts sanitaires du pays. Enfin, il est intéressant par la suite, de mettre en regard ce type de documents fournis par les acteurs de la lutte et concordant avec les stratégies mises en place, avec les données et connaissances collectées par d'autres voies, notamment celles des chercheurs.

<sup>16</sup> *Idem*. Si l'exactitude des données est discutable, l'ordre de grandeur des cas de palustre en fonction de l'année ne l'est pas.

long terme d'élimination du paludisme (RBM, 2010). Ce graphique illustre la chute de la morbidité palustre au Sénégal entre 2006 et 2009.

**Figure 8 : Extrait II du rapport 2010 du PNLP, Sénégal**



Les mesures prises tout au long des plans stratégiques de lutte résultent de cette baisse. Elles sont explicitées sur la frise chronologique (figure 5). On peut noter par exemple, l'abandon en 2003 de la chloroquine, à laquelle de nombreuses souches de *Pl. falciparum* étaient résistantes, au profit d'une chimioprophylaxie à base d'amodiaquine et de sulfadoxine-pyriméthamine. Celle-ci est laissée de côté trois ans plus tard au profit des ACTs (les combinaisons thérapeutiques à base d'artémisinine). Cependant, la chute majeure de la morbidité est due à un changement de diagnostic des cas de paludisme. En effet, l'introduction des Test de Diagnostic Rapide (TDR) modifie la mesure de la morbidité, en partie basée précédemment sur des diagnostics présomptifs. Si l'impact des mesures sur la morbidité était manifeste, elle est difficile à quantifier du fait de ce changement de la définition de cas. Avant 2007, les cas de paludisme étaient des cas suspects, sans confirmation biologique par lecture de lame ou par test de diagnostic rapide. Après 2007, les cas de paludisme rapportés sont des cas confirmés biologiquement. Les données véritablement comparables en 2008 et 2009 indiquent, somme toute, une réduction de plus de 40% en une seule année. Les variations annuelles pouvant être tout de même le fruit de nombreux facteurs, il est difficile de conclure quant aux raisons de la baisse. Depuis 2007 donc, ces tests sont massivement et gratuitement utilisés pour le diagnostic au même titre que la consultation et les soins en cas d'infection. Enfin, nous pouvons mentionner en 2008, la mise en place de l'initiative PECADOM (Prise En Charge A DOMicile) ainsi que le programme de couverture universelle en MILDA (Moustiquaire Imprégnée Longue Durée d'Action). Dans le cadre de la première mesure, les patients des villages et hameaux où le relais communautaire est effectif, bénéficient

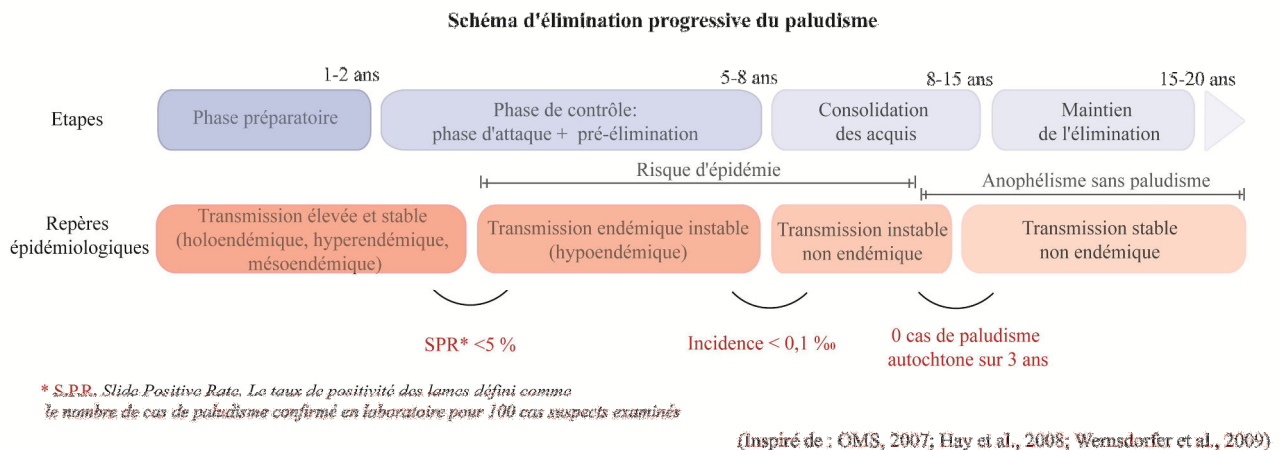
gratuitement d'un TDR et, en fonction du résultat, des ACTs. Pour ce qui est de la couverture universelle, des distributions massives de moustiquaires ont lieu dans toutes les régions (Ndoye, 2008 ; PNLP, 2008 ; RBM, 2010).

Ainsi, la couverture universelle en moustiquaires imprégnées d'insecticides, le dépistage et le traitement précoce des cas avec test de diagnostic rapide et ACTs participent activement à la baisse de la morbidité comme de la mortalité. Sommes-nous dans un nouveau tournant épidémiologique qui pourrait rendre possible l'élimination du paludisme dans des zones qui présentaient au départ une endémicité stable?

### 2.2.2 L'étape suivante : vers l'élimination du paludisme

Le paludisme sévit en deux modes : le mode épidémique et le mode endémique. Dans le premier cas, la transmission et les cas sont des événements inhabituels, qui peuvent survenir massivement en un temps et un lieu donnés. C'est ce que l'on nomme la période épidémique. En revanche, pour le mode endémique, l'inoculation de parasites est un événement répété fréquemment (éventuellement selon une chronologie saisonnière ou non). Les contacts entre l'Homme et le parasite sont réguliers, si bien que la stimulation immunologique est répétée, sinon permanente. Il en découle, au bout de plusieurs années, l'instauration d'un état de prémunition qui permet à l'hôte de réguler la densité des parasites et de diminuer la fréquence de ses accès. L'hôte se révèle positif lors de recherches de parasites sanguins bien qu'apparaissant en pleine santé. L'Homme peut être durablement asymptomatique. Si le paludisme est endémique dans les zones intertropicales en Afrique, le tournant épidémiologique actuel avec la mise en place des stratégies de lutttes citées précédemment, modifie l'intimité entre l'homme et le parasite et tend à faire disparaître cette endémicité (Hay, Smith & Snow, 2008). Dans les zones où les rapports entre l'homme et le parasite se sont vus limités, la plupart des cas deviennent symptomatiques. Si les gens se soignent avec une chimioprophylaxie adaptée en respectant la posologie adéquate, le réservoir de parasite est limité (Trape et al., 2011). Le passage au mode épidémique entraîne donc la nécessité d'une vigilance étendue où doivent notamment être surveillés les risques de développement d'une épidémie. C'est la phase de contrôle du paludisme. On peut retrouver ces repères épidémiologiques selon une typologie proposée par l'OMS dans la figure suivante.

**Figure 9 : Synthèse des étapes d'élimination du paludisme**



Ainsi, les plans des programmes de lutte intégrée suivent cette chronologie. La première phase d'attaque est destinée à renverser la tendance endémique : faire diminuer la mortalité et la morbidité du paludisme pour ensuite maintenir et stabiliser les efforts sur le long terme. C'est ici que se situe aujourd'hui le Sénégal (RBM, 2010). S'en suit une longue phase de pré-élimination qui se voit consolidée lorsque l'incidence devient très basse. L'essentiel est de disposer d'une couverture complète de mesures sanitaires contre la recrudescence du paludisme dans le temps et dans l'espace. A ce stade de la lutte, les mesures anti-vectorielles sont limitées aux foyers de transmission qui résistent. Enfin, à partir de trois ans consécutifs sans cas de paludisme autochtone, la phase de maintien de l'élimination commence. Elle prend la forme d'une période de vigilance étendue où sont notamment surveillés les risques épidémiques liés à l'importation de cas (OMS, 2007). C'est principalement dans cette phase, que l'intervention des SHS (Sciences Humaines et Sociales) est cruciale. Car si le nouvel enjeu est de viser la réduction de la morbidité et de la mortalité occasionnées par cette affection, cela a pour conséquence de placer au centre des préoccupations la maladie, le patient, son comportement de santé (choix de stratégies préventives, choix de recours aux soins,...) et son éventuel décès (Ndoye, 2008). En outre, dans une perspective notamment géographique et géopolitique, les volontés d'élimination du paludisme doivent s'accompagner d'études sur la diffusion des risques épidémiques, sur la vulnérabilité des populations ainsi que sur les comportements des hôtes en situation quotidienne et en situation de crise et sur le jeu des acteurs mondiaux face aux implications d'un contrôle permanent avec risque de lassitude des bailleurs. La remise au goût du jour du vocabulaire d'élimination et d'éradication du paludisme (voir la différence dans l'encart suivant) exige plus que jamais une lecture pluridisciplinaire des nouveaux enjeux sur la situation palustre mondiale.

**Encadré 2 : Elimination ou éradication?**

L'élimination est officiellement définie comme la réduction à zéro de l'incidence de l'infection palustre contractée localement dans une zone géographique spécifique, suite à des efforts délibérés. La définition a été adaptée de manière à intégrer le fait que des cas d'importation puissent apparaître dans ces pays qui ont achevé l'élimination, sans risquer de provoquer une résurgence de la parasitose. C'est le cas de la France par exemple. L'éradication signifie la réduction de l'incidence mondiale du paludisme à zéro, soit l'élimination totale du paludisme à l'échelle planétaire (Dowdle, 1998).

Pendant plusieurs décennies, la lutte contre le paludisme a visé le contrôle de l'impact de la pathologie sur les populations vivant en zone d'endémie. Aujourd'hui, l'utilisation de combinaisons thérapeutiques à base de dérivés de l'artémisinine<sup>17</sup>, les traitements préventifs intermittents chez les enfants et les femmes enceintes, l'utilisation généralisée de moyens de protection antivectorielle comme les moustiquaires imprégnées d'insecticide à longue durée d'action et les pulvérisations intradomiciliaires d'insecticide rémanents ont prouvé leur efficacité, réduisant drastiquement le poids du paludisme. L'objectif d'éradication revient alors sur le devant de la scène. Ce tournant épidémiologique n'occulte pas, voire accroît, la nécessité d'évaluation et de surveillance des zones où les parasites et les vecteurs circulent encore (Rogier, Henry & Trape, 2009 ; Enayati & Hemingway, 2010). Les connaissances sur le complexe pathogène doivent être précises et contextualisées selon les faciès épidémiologiques, les données observées critiquées et interrogées afin de s'assurer de leur adéquation à la réalité de la situation.

---

<sup>17</sup> Nous rappelons que, bien que de nombreux essais vaccinaux soient en cours, il n'existe pas encore de vaccin disponible contre le paludisme.





## *CHAPITRE 2. Lecture d'un système pathogène complexe : présentation des éléments, état des modélisations existantes et spécificité du paludisme urbain*

---

Le paludisme dépend d'une chaîne de transmission divisée en trois éléments, le parasite, le vecteur et l'hôte. Afin qu'il y ait réalisation de cette chaîne de transmission, un certain nombre de facteurs entre en scène. Nous avons souhaité au préalable proposer un modèle conceptuel récapitulatif des nombreuses conditions de réalisation de cette chaîne. Ce modèle renvoie également à l'évolution des expressions utilisées pour décrire et schématiser ce processus de transmission et de diffusion des parasites. Du complexe pathogène tropical, nous parlons à présent de système pathogène, voire de système pathogène complexe (Sorre, 1933; Le Bras & Malvy, 2004, Laperrière, 2009). Ce changement d'acception employé pour décrire le processus de transmission va de pair avec une complexification de ces modèles élaborés. Partant du premier modèle mathématique proposé par R. Ross en 1911, de nombreuses extensions apportées depuis lors sont documentées. Une partie sont des modèles mathématiques, incluant de nouveaux travaux, de nouvelles variables ou se penchant sur d'autres effets inhérents au processus de transmission comme la diffusion de la résistance aux médicaments ou encore l'évolution de l'immunité des populations (Zongo, 2009; Rogier & Sallet, 2004; Gaudart, 2007). D'autres modèles existent également, ciblés notamment sur les potentialités des statistiques disponibles : les modèles épidémiologiques ou spatiaux par exemple et encore ceux hybrides, qui combinent les deux (Tran et al., 2005; Sallet et al., 2009). Si leur connaissance est intéressante pour comprendre le contexte actuel des possibilités de la recherche sur le paludisme, nous avons choisi de ne pas rentrer dans le détail de ces derniers. Chacun propose bien des pistes de recherche à explorer et permet soit de comprendre les rôles respectifs des facteurs déterminants, soit de prédire et de déclarer des épidémies en pouvant également comparer l'impact des différentes stratégies de lutte. Cependant, notre contexte d'étude et l'échelle choisie se prêtent mal à leur application. Nous avons tout de même cherché à en tirer parti. Puisque le modèle est « une représentation schématique de la réalité élaborée en vue de l'expliquer, ou encore de la comprendre et de la faire comprendre » (Durand-Dastès, 1993), c'est notamment par eux que nous pouvons synthétiser et représenter les facteurs qui jouent un rôle dans la transmission du paludisme à Dakar. En revanche, l'exploration de modèle prédictif est une porte que nous avons choisi de fermer, compte tenu de la difficulté de disposer de données suffisamment complètes et robustes. Les difficultés de collecte de données en milieu urbain, si elles sont assez bien connues des chercheurs notamment dans les pays en voie de développement, s'additionnent à des problèmes de représentativité des données spécifiques au paludisme. L'étude du paludisme urbain limite donc les possibilités d'utiliser de nombreux outils existants pour son analyse. Faisant alors état des recherches ayant déjà eu lieu sur l'agglomération Dakaroise, nous justifierons les bases de nos interrogations sur ce paludisme urbain, problème de santé publique notoire, qui, s'il peut sembler plus fragile au départ, puisque l'anophèle y est peu

adapté, pourrait s'avérer un casse-tête chinois pour lutter contre les flambées épidémiques pouvant émerger dans certains sous espaces de la ville.

## **1 Modélisation du complexe pathogène : quelques éléments contextuels**

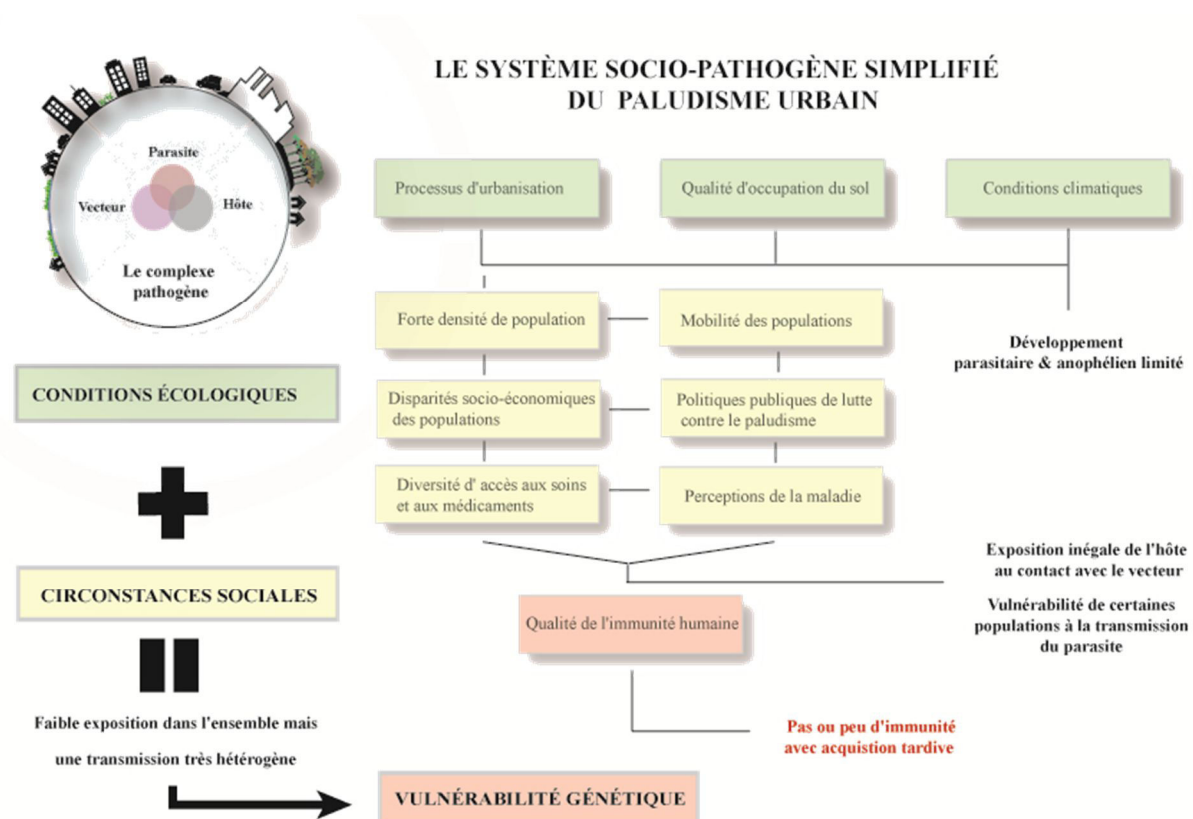
### **1.1 Du complexe pathogène au système pathogène**

Le concept de complexe pathogène a été forgé en 1928 par Max Sorre au Congrès international de géographie de Cambridge. Cette notion est d'abord décrite en 1933 dans un article des *Annales de Géographie* « Complexe pathogène et géographie médicale », puis reprise dans « Les fondements biologiques de la géographie humaine » (Sorre, 1943). Largement adopté par les épidémiologistes au départ, ce concept résulte de la coïncidence, dans un espace déterminé, d'un agent pathogène, de son hôte réservoir (milieu naturel, homme, animal), d'un mode de transmission (conditions climatiques, sociales, environnement, vecteur ou hôte intermédiaire) et d'individus réceptifs (Le Bras & Malvy, 2004). Reposant donc sur une démarche systémique avant l'heure, les déterminants ou facteurs sociaux qui favorisent ou contrarient la constitution du complexe ou son maintien sont également précisés (Picheral, 2001). « La plupart de ces circonstances relèvent d'ailleurs de la géographie humaine : densité de population, migrations, genre de vie (...) » (Sorre, 1933, p. 18). Cependant la diversité de ces faits de santé ou encore les rapports d'interdépendance entre eux sont pensés mais encore peu mis en valeur dans ce premier cadre dressé par M. Sorre. Notamment enrichie dans un sens plus social, l'expression s'est vu remplacée récemment par celle de "système pathogène". Elle s'affranchit définitivement des écueils d'un déterminisme naturel qui associerait l'aire d'expression du complexe pathogène uniquement à l'espace géographique disposant des conditions du milieu favorables à l'écologie de chaque élément du complexe. Les déterminants sociaux, culturels, comportementaux ou encore l'organisation du système de soins sont inclus dans l' (ou les) environnement(s) dans le(s)quel(s) s'exprime la chaîne de transmission palustre. Ce tournant conceptuel met ainsi l'accent sur le caractère multifactoriel de la maladie, sur les relations réciproques et les interactions cumulatives, synergiques ou rétroactives des multiples facteurs impliqués dans le processus pathogène. Le système est perçu comme lui-même composé de sous-systèmes et inscrit dans un milieu (ou environnement), propice ou non au développement du système global (Picheral, 1976 ; Picheral, 1982). L'espace pathogène, quelle qu'en soit l'échelle, correspond alors à la projection spatiale du système pathogène qui peut varier avec le temps. Nous avons souhaité construire ce que pourrait être ce système pathogène (ou socio-pathogène, les deux acceptions employées par Picheral sont synonymes) dans le cas du paludisme urbain. Pour ce faire, nous avons réuni dans un même modèle graphique, les variables impliquées dans le système, décrites dans la littérature déjà existante.

## 1.2 Modèle conceptuel des déterminants et facteurs du paludisme

Le système pathogène palustre se configure différemment d'un environnement donné à un autre. Ainsi, les déterminants du paludisme en milieu urbain sont différents d'une transmission qui aurait lieu en zone rurale. Le processus d'urbanisation notamment est responsable de conditions écologiques et sociales particulières. La transmission du paludisme nécessite donc la présence des trois éléments du complexe pathogène primaire : l'homme, le vecteur et le parasite et, afin d'avoir lieu, des conditions environnementales spécifiques. Sur la figure suivante, nous avons classé en trois catégories ces facteurs ou déterminants du paludisme (l'encart situé à la fin de cette sous-partie explicite l'utilisation alternative des termes déterminants de santé, facteurs de santé ou facteurs de risque).

**Figure 10 : Le système socio-pathogène simplifié du paludisme urbain**

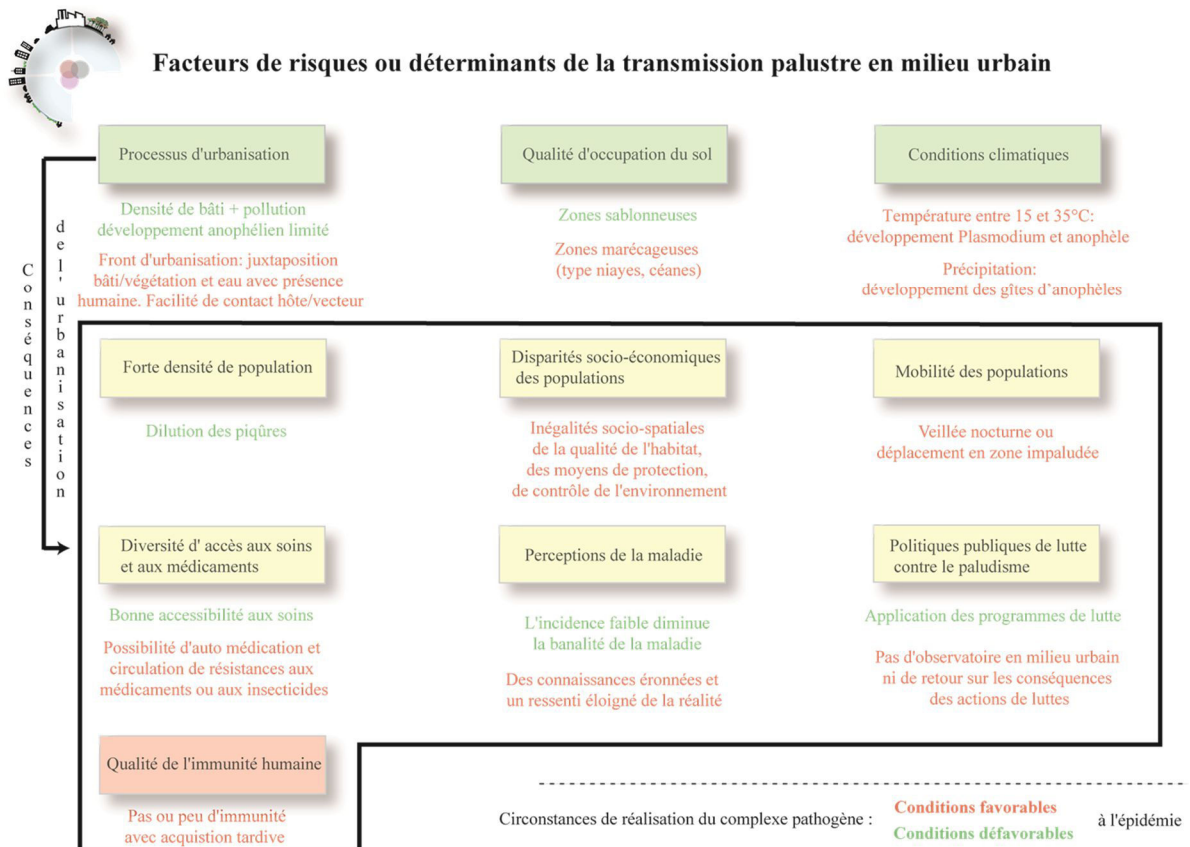


Marion Borderon UMR 7300 ESPACE - 2013

Les conditions écologiques déterminent notamment la présence et le développement anophélien en ville. Les conditions sociales influencent l'exposition humaine et sont responsables de fortes inégalités dans le nombre de piqûres reçues par chaque hôte humain. Par là-même, les sous espaces urbains de la ville ne présentent pas les mêmes caractéristiques et, selon l'influence qu'exerce chacun des différents facteurs sur la transmission de l'épidémie, la transmission devient hétérogène dans l'espace et se répercute sur l'acquisition ou non d'une immunité au paludisme. Lorsque l'exposition est faible dans l'ensemble, le risque palustre est épidémique et non endémique, puisque la population n'est pas ou plus prémunie. La

vulnérabilité génétique au paludisme est directement liée aux qualités de la transmission due aux caractéristiques écologiques et sociales. Afin de décrire plus en détails les actions de chacun des déterminants, nous avons explicité les circonstances, favorables ou défavorables à la réalisation du complexe pathogène, qu'ils provoquent. Il est ainsi notable, qu'une majorité de ces facteurs principaux sont particulièrement dépendants du processus urbain (Keating et al., 2003 ; Robert et al., 2003 ; Donnelly et al., 2005).

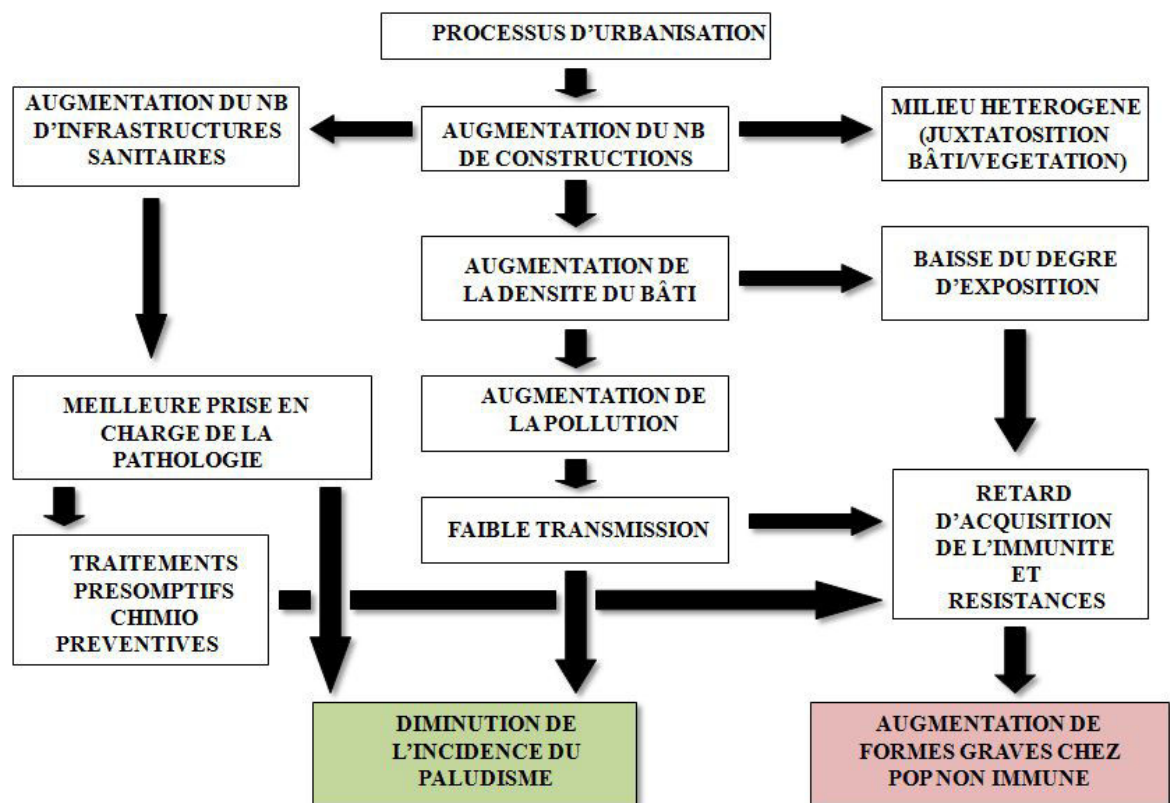
**Figure 11 : Schématisation des facteurs de risques de la transmission en milieu urbain**



A titre d'exemple, les centres villes urbains sont des espaces où les densités humaines sont fortes, ainsi que la pression foncière. Cela a deux conséquences majeures, toutes les deux défavorables au risque de contracter le parasite hématozoaire du genre *Plasmodium*. D'un côté, l'occupation du sol se caractérise par une présence importante de zones artificialisées (béton, goudron, ...), laissant peu de place à des gîtes anophéliens naturels, de l'autre la densité humaine divise proportionnellement le risque de piqûre individuelle. Le nombre de piqûres est dilué par le nombre d'hôtes disponibles (Salem, 1998 ; Robert et al., 2003 ; Donnelly et al., 2005). *A contrario*, les fronts d'urbanisation sont généralement des zones épidémiologiquement actives (Dorier Apprill, 1993 ; Baudon & Spiegel, 2003 ; Borderon & Perchoux, 2009). Elles concentrent des populations résidentes plus exposées, car la densité humaine y est plus faible et l'occupation du sol plus susceptible d'abriter encore des paysages attrayants pour le moustique vecteur. Il faut en effet préciser que la dispersion des

anophèles, correspondant à la distance parcourue entre le gîte larvaire et le lieu de la prise du repas de sang par l'anophèle est très faible en ville (moins de 400m environ) (Salem et al., 1994). En simplifiant, le moustique cherche à se nourrir sur les hôtes qui lui sont le plus proche. Cela entraîne une hyperlocalisation du risque de piqure en fonction de la distribution des gîtes anophéliens dans la ville (Machault et al., 2011; Gadiaga et al., 2011). Ainsi, comme cela avait déjà été observé en milieu endémique, l'urbanisation s'impose bien comme un frein au développement du paludisme (Trape, 1986). Bien qu'hétérogène, la transmission reste relativement faible dans la plupart des quartiers. Cependant, l'association des conséquences de chacun des facteurs peut conduire à un risque de mortalité accru, notamment dans les espaces où le paludisme était endémique. C'est pour cela que le paludisme urbain s'est vu nommé "paludisme de demain" (Baudon, 1996). La figure 12 résume ces effets paradoxaux. En résumé, l'accroissement du nombre de constructions, accompagné de ce fait d'une pollution domestique contraignent la présence de gîtes anophéliens potentiels. La présence limitée du vecteur en ville engendre une baisse du taux d'exposition et donc de transmission du paludisme. De plus, le milieu urbain bénéficie d'une offre de soins bien plus importante et plus variée qu'en milieu rural, permettant une meilleure prise en charge des cas de paludisme maladie. Le réservoir de parasites est donc également limité. Cependant, l'exposition plus faible des populations au vecteur du paludisme engendre un retard voire une absence d'acquisition d'une immunité. Le développement de formes plus graves de la pathologie est donc à craindre lorsque la population citadine est exposée à une piqure infectante, que ce soit dans les quartiers de la ville où la transmission peut tout de même avoir lieu, ou lors de déplacements en zones impaludées.

**Figure 12 : Les conséquences paradoxales du paludisme urbain**



Ces modélisations conceptuelles nous donnent ainsi une idée plus précise du caractère multifactoriel de la chaîne de réalisation nécessaire à la transmission palustre et de la diversité des facteurs intervenants. L'imbrication subtile de facteurs écologiques et sociaux est déjà perceptible et renvoie à l'évolution des perceptions sur la maladie. D'une pathologie déterminée par l'environnement au départ, il est fréquent aujourd'hui, à l'échelle mondiale, de parler d'une maladie du sous-développement (De Bernis, 1974 ; Amat Roze, 2000 ; Martini, 2011). Faut-il agir sur les conditions écologiques ou sur les conditions sociales? A la lumière des premiers essais de modélisation mathématique sur le paludisme puis des nombreux modèles proposés depuis lors, voyons comment les déterminants ont été pris en compte dans les modèles de transmission du paludisme afin, soit d'estimer les actions à mener pour baisser ou stopper la transmission, soit améliorer la compréhension et l'estimation du rôle respectif des facteurs impliqués.

**Encadré 3 : Déterminants de santé, facteurs de risque sanitaire : quelles différences?**

À la différence du facteur de risque (ou facteur causal) utilisé en épidémiologie et qui a, par définition, une valeur de probabilité statistique, un déterminant de santé protège ou au contraire compromet la santé d'un individu ou d'une population. L'usage tend cependant à confondre les deux expressions (Picheral, 2001). Dans notre cas, nous ne confondons pas facteurs de risque avec déterminants mais nous utilisons en revanche facteurs et déterminants comme deux entités synonymes, éventuellement emboîtées. Le déterminant de santé peut soit désigner un facteur, soit se composer de plusieurs facteurs associés. Ce choix se justifie d'ailleurs par des catégorisations tantôt faites dans les articles ou dictionnaires, décidant que telle ou telle variable est un déterminant politique, économique, social,... alors que dans telle autre typologie, elle est un facteur. Ne cherchant donc pas de distinction artificielle entre les deux, nous employons les deux termes pour la même acception : l'un définit l'autre. Un déterminant de santé est un facteur qui influence l'état de santé d'une population soit isolément, soit en association avec d'autres facteurs. Dans nos schémas conceptuels, nous cherchons donc à mettre en lumière et organiser les facteurs du paludisme urbain qui d'un côté prédisposent des groupes ou des individus à la maladie, ou bien au contraire, les protègent.

1.3 Modéliser le paludisme ou la naissance de la modélisation mathématique<sup>18</sup>

La méthode scientifique de modélisation mathématique a pour but de décrire à l'aide d'équations la diffusion d'une maladie. Elle se voit utile dans deux cas : à visée heuristique, elle sert à comprendre le processus de diffusion ou, dans un objectif de recherche-action, elle permet de concevoir des stratégies de santé publique efficaces. Il n'existe pas un modèle du paludisme mais seulement des modèles de certains de ses aspects (Rogier & Sallet, 2009). Le premier modèle revient à Ronald Ross, médecin bactériologiste au sein de l'armée britannique et entomologiste reconnu, qui découvre, en observant la présence de *Plasmodium* dans l'estomac de certaines espèces de moustique, que la maladie est transmise par le biais d'un vecteur, l'*Anophele*. Cette découverte, couronnée par le prix Nobel de médecine en 1902, a permis d'établir de nouvelles bases pour la recherche scientifique sur cette maladie et d'envisager des solutions inédites pour son contrôle. *De facto*, R. Ross prône un contrôle du paludisme par une lutte antivectorielle. Cependant, la communauté médicale conteste rapidement : on ne peut éradiquer totalement les moustiques d'une région donnée, ce serait donc inutile, puisque s'il y en reste, la transmission palustre perdurera. Dans l'idée de réfuter l'argument, Ross construit le premier modèle mathématique de transmission du paludisme afin de démontrer que lorsque la population de vecteur diminue, la transmission peut s'arrêter

<sup>18</sup> La rédaction de ces paragraphes est en partie inspirée des dossiers thématiques de l'IRD dont l'un porte sur le paludisme (Vaincre le Paludisme) avec un chapitre consacré à la modélisation du paludisme <http://www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/paludisme/systemes/modelisation02.html>

(Ross, 1911 ; Ross, 1928). Il l'établit sous la forme d'un modèle compartimental. Son idée initiale, qui perdure encore dans la littérature actuelle d'épidémiologie mathématique, était de ne pas se focaliser sur la charge parasitaire (soit le nombre de *Plasmodium* à l'intérieur de l'individu malade) mais plutôt de caractériser leur état "épidémiologique" : soit infectieux ou susceptible, c'est-à-dire, non infectieux mais pouvant le devenir. Les états possibles sont identiques chez les populations vectrices : l'objectif est alors de décrire l'évolution de ces quatre quantités au cours du temps. Ce qui donne :

$$\frac{dx}{dt} = mab_2y(1 - x) - rx$$

$$\frac{dy}{dt} = ab_1x(1 - y) - \mu y$$

Les paramètres  $r$  et  $\mu$  quantifient respectivement le décès d'humains et de moustiques infectieux. Le reste de l'équation permet alors de formaliser le processus d'infection au paludisme. Ainsi, le processus d'infection d'un individu humain est formalisé par le terme :

$$mab_2(1 - x)$$

Ce processus d'infection est donc le produit de cinq quantités : (i) la proportion d'humains susceptibles,  $1-x$ , (ii) de moustiques infectieux,  $y$ , (iii) de la probabilité qu'un humain susceptible devienne infectieux après avoir été piqué par un moustique infecté,  $b_2$ , (iv) du taux de piqûre du moustique,  $a$  et enfin (v) du nombre de moustiques par individu humain,  $m$ . L'infection d'un moustique susceptible est modélisée de façon réciproque, à l'exception de  $b_1$  qui quantifie la probabilité qu'un moustique susceptible devienne infectieux après avoir piqué un humain infecté.

Le processus d'infection, extrêmement complexe comme nous avons déjà pu le souligner, est donc particulièrement simplifié ici afin de pouvoir être quantifié. Néanmoins, ce modèle permet de décrire mathématiquement les conditions d'épidémie : comprendre quand une épidémie peut avoir lieu et avec quelle intensité. Au centre du modèle, on dispose d'un concept fondamental en santé publique : le taux de reproduction de base  $R_0$ .

$$R_0 = \frac{ma^2b_1b_2}{\mu r}$$

Ce taux correspond au nombre de personnes qu'un humain malade va contaminer dans une population où personne ne l'a jamais été (l'immunologie éventuelle des populations n'est pas prise en compte). Un  $R_0$  de  $x$  signifie qu'un individu infecté contaminera en moyenne  $x$



individus n'ayant jamais été infectés et, à son tour, chacun de ces  $x$  individus infectera  $x$  autres individus susceptibles... Ainsi, si le  $R_0$  est inférieur à 1, chaque individu parasité va infecter en moyenne moins d'un autre individu et ainsi de suite jusqu'à ce que l'épidémie s'éteigne. Si au contraire elle est supérieure à 1, alors chaque individu va infecter plus d'un individu en moyenne et une épidémie est possible. Sous un certain seuil donc, l'épidémie de paludisme n'a pas lieu. Il n'est pas nécessaire d'éradiquer toutes les espèces vectrices d'une zone pour se prémunir des épidémies de paludisme.

Depuis lors, le nombre d'études impliquant les modèles mathématiques s'est multiplié et de nombreuses innovations sont venues se rajouter au travail pionnier de Ronald Ross (les premières améliorations tiennent notamment à Macdonald (1956). S'ajoutent aujourd'hui de nombreux autres extensions comme l'inclusion des cas de surinfection (Dietz, Molineaux & Thomas, 1974; Molineaux, Dietz & Thomas, 1978), du processus d'immunité acquise (Hethcote 1974 ; Bailey, 1975 ; Aron, 1988) et d'immunité relative (Dutertre, 1976 ; Ngwa & Shu, 2000), de la diffusion de la résistance aux médicaments (Koella & Antia, 2003 ; Bacaër & Sokna, 2005 ; O'Meara, Smith & McKenzie, 2006) ou encore les effets dus aux changements environnementaux (Yang, 2000 ; Li et al., 2002, Rogers, Randolph & Snow, 2002). En outre, la dimension spatiale qui permet de comprendre l'importance des flux d'individus et des activités humaines sur la transmission de la maladie fait partie des extensions récentes et particulièrement intéressantes dans une étude géographique (Chitnis, Cushing & Hyman, 2005).

Faire la revue des modèles actuels sur le paludisme peut se révéler être une très lourde tâche devant le nombre conséquent de tous ceux existants. Il s'agit déjà de chercher quel niveau de la modélisation nous voulons (modèles intra-hôtes, dynamique de la population parasitaire, dynamique de la transmission,...). En outre, un certain nombre de synthèses sur les modèles testés et disponibles existent déjà (Koella, 1991 ; Molineaux & Dietz, 1999 ; McKenzie, 2000 ; Rogier & Sallet, 2004 ; Gaudart, 2007 ; Zongo, 2009 ; RBM, 2010 ; Moiroux, 2012). De manière générale, la plupart des modèles sont des compromis entre deux types : les modèles prédictifs basés sur des données uniquement et les modèles de compréhension, construits à l'aide de grands principes de la physique, de la chimie, de la biologie ou encore, dans notre cas, de l'épidémiologie.

Disposer de jeux de données est donc particulièrement nécessaire. Ils peuvent servir à ajuster les valeurs des paramètres du modèle afin de chercher à reproduire les phénomènes observés ou être utiles dans la prédiction d'une variable (comme  $R_0$  le taux de reproduction de base par exemple, dans le modèle de Ross). Par ailleurs, un autre jeu de données peut être utilisé pour vérifier un modèle qui a été paramétré avec d'autres données (Rogier & Sallet, 2004). Ainsi, quelle que soit la simplicité du modèle, nous sommes confrontés à une dimension aporétique dans de nombreux cas d'étude : le manque de données pour l'alimenter, bien que certains modèles soient conçus pour prendre en compte le caractère incomplet des

données à l'échelle locale (Sallet & Rogier, 2009). Quelles données sont disponibles dans le cas du paludisme urbain? Quels sont les biais qu'elles présentent? Cette question cruciale des données, définit à elle seule notre champ d'action dans le choix d'une méthode pour explorer les enjeux du paludisme à Dakar. Qui plus est, nous allons voir que l'environnement urbain accroît la difficulté d'utilisation de ce type de modèles. S'ensuit également la contrainte de séries de données temporelles si l'on souhaite pratiquer une modélisation dynamique.

#### 1.4 Les spécificités du paludisme en milieu urbain : des intérêts aux difficultés d'application des modèles existants

Selon une classification simple, nous pourrions définir deux principaux types de modèles réalisés sur les maladies vectorielles : les modèles épidémiologiques liés au calcul de la capacité vectorielle et au taux de reproduction de base ( $R_0$ ) de la maladie, comme dans l'exemple précédent, et les modèles géographiques, pouvant être utilisés pour décrire la distribution des vecteurs en fonction de conditions environnementales (Tran et al., 2005). Concernant les modèles géographiques, de gros projets cartographiques ont été menés à l'échelle globale. Par exemple, MARA/ARMA et MAP<sup>19</sup> sont deux projets collaboratifs portés sur la modélisation spatiale de la maladie. Ils fournissent un atlas du paludisme dans le premier cas pour l'Afrique, dans le second cas, sur tous les pays impaludés (MARA/ARMA, 1999 ; Hay & Snow, 2006). Afin de réaliser ces cartographies, les chercheurs se sont basés sur une collecte systématique des données existantes dans les pays étudiés. A cela, ils ont estimé la distribution des vecteurs. Par exemple dans les zones où les données étaient absentes, la distribution a été estimée en fonction des caractéristiques environnementales (notamment climatiques) de ces zones. Il faut dire qu'un tel procédé, pour avoir un sens à une échelle fine dans notre cas, mérite une panoplie de données précises, localisées et multidatées. Puisque ces données n'existent pas en tant que telles, il faut à l'échelle de la ville, mettre en place ses propres enquêtes.

Cependant, le caractère hypo-endémique du milieu urbain étudié, complique également la possibilité d'acquisition de données utiles et fiables. Le taux d'inoculation entomologique (TIE) par exemple représente le nombre de piqûres infectieuses auxquelles un individu est exposé pendant une période donnée (il est souvent calculé pour un an). Il permet une estimation directe de la transmission, facile à comprendre et à comparer. C'est donc en théorie, un moyen performant pour l'estimation de l'endémicité du paludisme. Malheureusement, la mesure du TIE pose de nombreux problèmes. Premièrement, les méthodes utilisées ne sont pas suffisamment standardisées, de sorte que les estimations du TIE peuvent varier fortement en fonction des méthodes de recueil de données utilisées. Deuxièmement, les erreurs d'échantillonnage peuvent être importantes dans les zones

---

<sup>19</sup> MARA/ARMA Mapping Malaria Risk in Africa/ Atlas du Risque de la Malaria en Afrique - <http://www.mara.org.za/>

MAP : Malaria Atlas Project - <http://www.map.ox.ac.uk/>

rarement infectées ou si les moustiques sont rares. Enfin, les études de grande qualité avec suivi de longue durée sont rares, et les TIE restent souvent indisponibles (MARA/ARMA, 1999). La question des sources et de la collecte de données sont cruciales et, en bien des aspects, il faudra pallier le problème des données manquantes, insuffisantes ou biaisées. Nous venons de voir les principaux problèmes rencontrés sur l'évaluation du risque entomologique, il en existe aussi d'autres ayant attiré cette fois-ci, à l'évaluation de la charge morbide et la quantification du paludisme infection.

#### 1.4.1 Sous- ou surestimer les données : les différentes façons " d'avoir le palu "

Comme nous l'avons vu précédemment, les manifestations cliniques du paludisme sont très diverses et recouvrent des symptômes qui sont aussi l'apanage de nombreuses autres maladies : fièvres, vomissements, affaiblissement,... ce qui rend le diagnostic clinique difficile (voir notamment Malvy et al. 2000 ; Munier et al. 2009 ; Rogier, Henry & Trape, 2009). Puisque la maladie est au départ très fréquente dans de nombreux environnements tropicaux, la relation entre ces symptômes et le paludisme est très généralisée, pour ne pas dire systématique. Une fièvre et le paludisme est immédiatement soupçonné. Cette association engendre des conséquences néfastes quant au contrôle de la maladie mais aussi dans l'estimation du nombre de cas de paludisme. En premier lieu la prise d'antipaludique, lorsqu'elle n'est pas nécessaire, implique une dépense superflue. Cette prise médicamenteuse peut avoir lieu soit après automédication soit au retour d'une structure de santé pratiquant le diagnostic présomptif<sup>20</sup>. De surcroît, il en résulte que la véritable pathologie qui a suscité les symptômes n'est pas soignée (Nordstrand et al., 2007 ; Koram & Molyneux, 2007 ; Lundgvist et al., 2010). La prise médicamenteuse sans nécessité dans le cas des traitements présomptifs par exemple, l'absence d'un suivi cohérent de la posologie, peut avoir une incidence sur les diffusions des résistances des parasites aux antipaludiques (Le Bras, Musset & Clain, 2006 ; Norante et al., 2007 ; Gardella, 2008). La cause de cette surévaluation de la charge morbide associée au paludisme est principalement liée à la banalité de la maladie pour les populations locales puis au manque de test de diagnostic afin de déterminer de manière plus fiable qu'un simple examen présomptif si le patient est porteur ou non de parasites. On pourrait s'attendre à ce que ces considérations se vérifient moins en milieu urbain où l'instauration par exemple en 2007 à Dakar des TDR (Test de Diagnostic Rapide) dans de nombreux centre de santé aide à déterminer si oui ou non le patient fait un accès palustre (Faye, 2012). Mais si les cas de paludisme dans l'agglomération Dakaroise sont moindres que dans certaines régions rurales (en pourcentage de la population touchée) et principalement concentrés dans le temps à la fin de l'hivernage, les citoyens comme les professionnels de santé continuent de percevoir le

---

<sup>20</sup> Le diagnostic présomptif signifie qu'aucun test biologique n'est subi par le patient. Le diagnostic porte essentiellement sur les symptômes dont éventuellement la palpation de la rate en zone d'endémie (pour plus d'informations l'article de Rogier, Henry & Trape porte sur l'évaluation épidémiologique du paludisme en zone d'endémie (2009). [http://www.revuemedecinetropicale.com/123\\_rogier\\_2\\_ao.pdf](http://www.revuemedecinetropicale.com/123_rogier_2_ao.pdf)

paludisme comme une maladie fréquente et l'automédication est largement banalisée (Ministère de la Santé et de la Prévention médicale, 2006 ; Diallo et al., 2012b).

En outre, il faut distinguer "paludisme infection" de "paludisme maladie" (Danis & Mouchet, 1991). Le "paludisme infection" signifie que l'individu est porteur asymptomatique de parasites. Ainsi, en zone de transmission intense et permanente, la quasi-totalité des individus est porteuse de *Plasmodium* mais peut disposer d'une prémunition (Rogier & Trape, 1995). Le fait d'héberger des parasites ne signifie donc pas automatiquement être malade. C'est alors uniquement lorsqu'il y a expression clinique du portage que l'on parle de "paludisme maladie", la forme la plus classique étant l'accès palustre (Charlot & Mouchet, 1999).

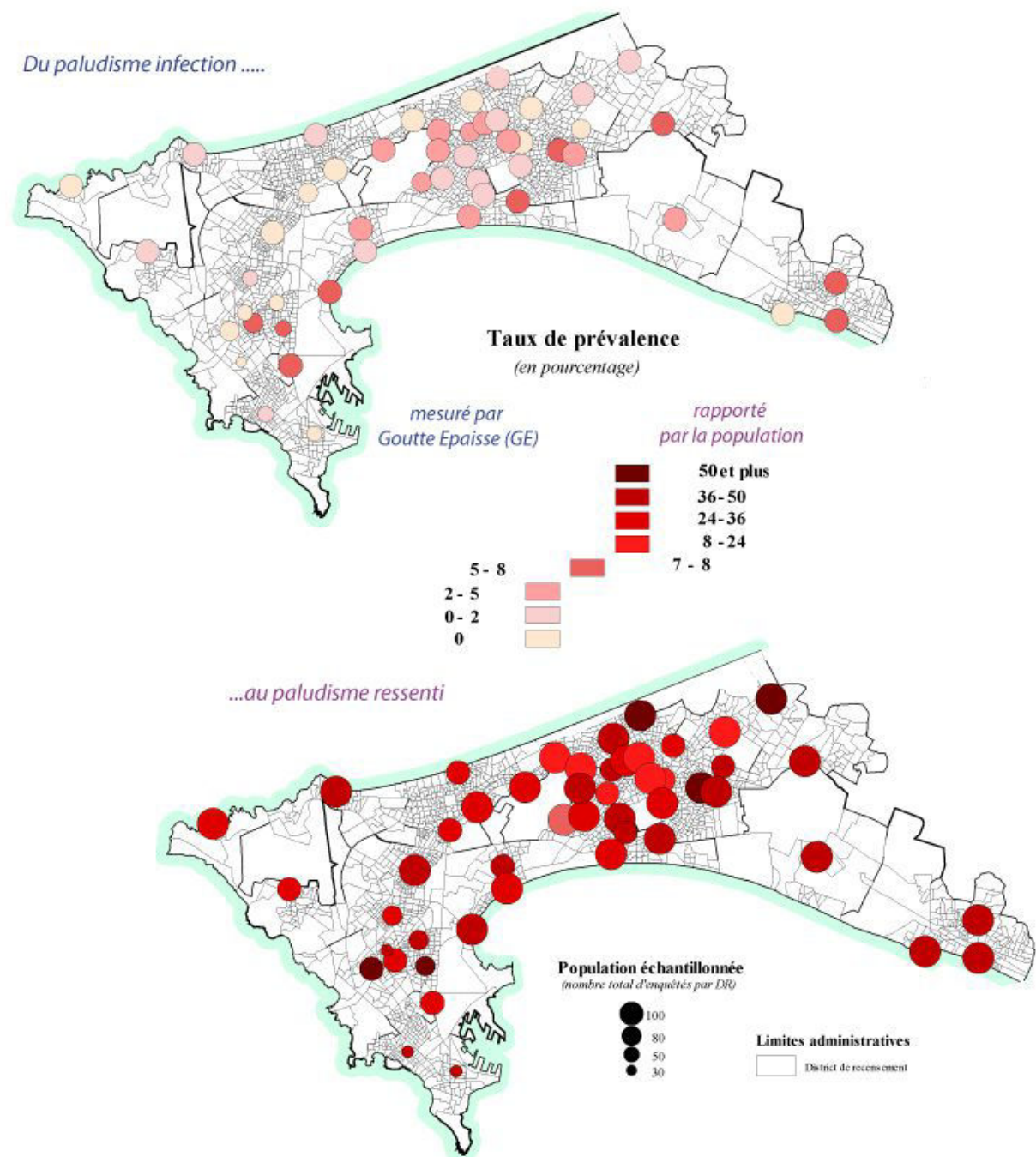
A la lumière des enquêtes transversales ACTUPALU<sup>21</sup> menées en 2008 sur 50 sites d'études de l'agglomération Dakaroise, nous pouvons comparer notamment le paludisme-infection du paludisme dit "ressenti"; c'est-à-dire déclaré par la personne enquêtée. Nous n'avons donc pas directement d'information sur le paludisme-maladie puisque le portage asymptomatique de parasite n'entraîne pas inéluctablement une charge morbide ou létale. Cette étude du portage du *Plasmodium* réalisée sur 4658 individus en 2008 a montré que le parasite est présent dans l'agglomération Dakaroise avec des variations notables entre les sites enquêtés. L'utilisation du test de la goutte épaisse (GE), s'il a tendance à sous-estimer la charge réelle de parasite, est un indicateur présenté comme robuste du taux de prévalence minimum dans l'agglomération. L'utilisation de la PCR<sup>22</sup> (plus sensible que la GE suggère par exemple des taux de portage pouvant atteindre 16 % de la population générale (Diallo et al., 2012a). Enfin, il existe une forte perception du paludisme par les populations puisqu'une personne sur trois a déclaré en 2008 avoir eu un accès palustre (Diallo et al., 2012b). Les différences substantielles entre les deux cartes de la figure ci-dessous sont soulignées par une légende commune où le maximum du taux de prévalence mesuré par GE se situe autour de 8%, ce qui correspond au minimum du taux de paludisme ressenti par la population enquêtée.

---

<sup>21</sup> ANR-07-SEST-001

<sup>22</sup> La PCR est l'acronyme pour Polymerase Chain Reaction tandis que GE signifie Goutte Epaisse. Ce sont deux tests préconisés dans le diagnostic biologique du paludisme. La GE se fait généralement par prélèvement capillaire au bout du doigt avec confection immédiate puis elle est analysée par un spécialiste. C'est donc un procédé relativement lent qui dépend fortement de la qualité d'observation et d'expérience de l'analyste. La GE cependant reste un outil performant dans la détection microscopique des infections plasmodiales. La TDR, elle, est une technique d'amplification génomique pour la détection des *Plasmodium*. Elle fournit le diagnostic rétrospectif d'un patient traité. Sa sensibilité est excellente mais son coût est important et le procédé manque de standardisation. (Ces informations sont résumées ici : [http://www.infectiologie.org.tn/pdf/cmi/sousse\\_01032012/diag\\_bio\\_palu.pdf](http://www.infectiologie.org.tn/pdf/cmi/sousse_01032012/diag_bio_palu.pdf)). Pour plus d'information sur les avantages et inconvénients des différentes méthodes, il est possible de se référer également à l'article cité ci-avant (Rogier Henry Trape, 2009).

**Figure 13 : Le taux de prévalence dans l'agglomération de Dakar, du paludisme avéré au paludisme ressenti**



## 2 L'agglomération Dakaroise : un cas d'école

Ces enquêtes sur l'agglomération de Dakar, sur lequel nous reviendrons lors d'analyses plus poussées de ces données dans les parties 2 et 3 de la thèse, ne sont pas les premières du genre. La géographie particulière de la zone d'étude, sa situation historique vis-à-vis de la France notamment, a fait de Dakar une région régulièrement étudiée et surveillée d'un point de vue entomologique et clinique. Les études commencent dès le début du siècle (Le Moal,

1906 ; Léger, 1919 ; Léger & Baury, 1922 ; Durieux & Sall, 1929 ; Cazanove, 1932 ; Gilly, 1934) et perdurent jusqu'à aujourd'hui.

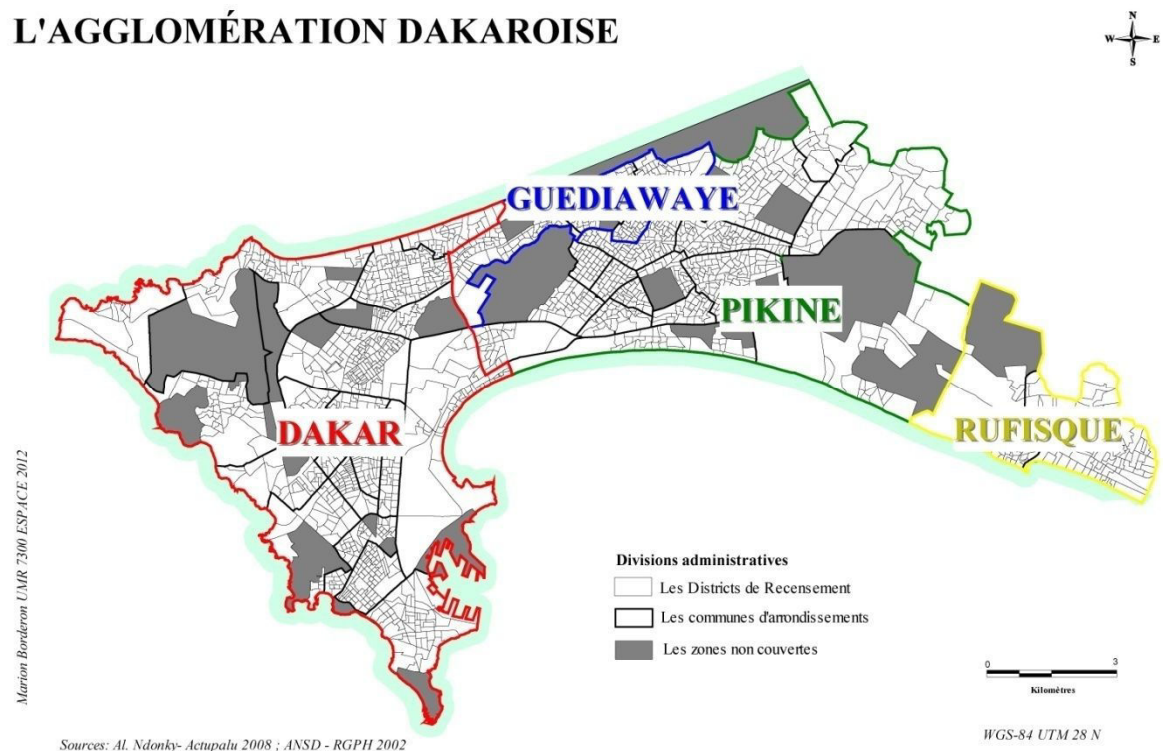
## 2.1 Géographie des quatre communes étudiées

La région de Dakar doit sa configuration particulière à sa situation à la pointe de la presqu'île du Cap Vert. Forte de plus de 2 millions d'habitants en 2002, elle s'étend ainsi à l'est sur une superficie d'environ 550 km<sup>2</sup> (ANSD, 2006). Cette région comprend notamment quatre communes urbaines (Dakar, Pikine, Guédiawaye et Rufisque), qui forme ce qu'on appelle communément l'agglomération dakaroise ou encore " Grand Dakar ". Guédiawaye et Pikine se présentent comme les banlieues du centre-ville dakarois. Ces communes sont nées des "déguerpissements" de certains quartiers du centre-ville de Dakar et ont été alimentées par les différentes vagues de migrations qui se sont notamment succédées depuis les années 70, résultat combiné de la sécheresse et de la crise économique qu'a connu le pays durant cette période (Vernière; 1973 ; Tall, 1994). D'ailleurs, la faible potentialité d'expansion de l'urbain hors du front Est a créé des problèmes notamment d'accroissement de la pression foncière et d'accès difficile à la propriété dans la ville de Dakar (Banque Mondiale, 2008). Dans la région, l'habitat spontané représente plus de 30% des zones habitées. Le taux de logements illégaux est estimé à 21,7% avec 2,9% pour le district de Dakar, 42,4% pour Pikine et 9,5% pour Rufisque (UN Habitat, 2007). De plus, les villes sont très peu verticalisées et les tissus urbains reflètent l'histoire de la ville de Dakar et de son expansion depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Comme il est rappelé dans le profil urbain de Dakar dressé par l'UN Habitat, « la future grande ville qu'est aujourd'hui Dakar », située sur l'extrémité occidentale du Sénégal, n'était en 1857 qu'un petit village Lébou. Dès lors, l'on retrouve des morphologies différentes entre les quartiers, selon par exemple, que l'on observe les anciens villages lébou, de Hann, Ngor, Yoff ou Ouakam et Cambérène.

Cependant, l'agglomération a connu d'importantes transformations depuis les années 1980. Le paysage de la ville est désormais marqué par la durcification du bâti, la verticalisation de l'habitat et la poursuite de l'étalement urbain en périphérie (Lessault & Imbert, 2013). Il est donc intéressant d'actualiser et d'examiner le profil épidémiologique des quatre villes d'étude à la lumière de ce nouveau contexte.

Figure 14 : les quatre communes de l'agglomération de Dakar

## L'AGGLOMÉRATION DAKAROISE



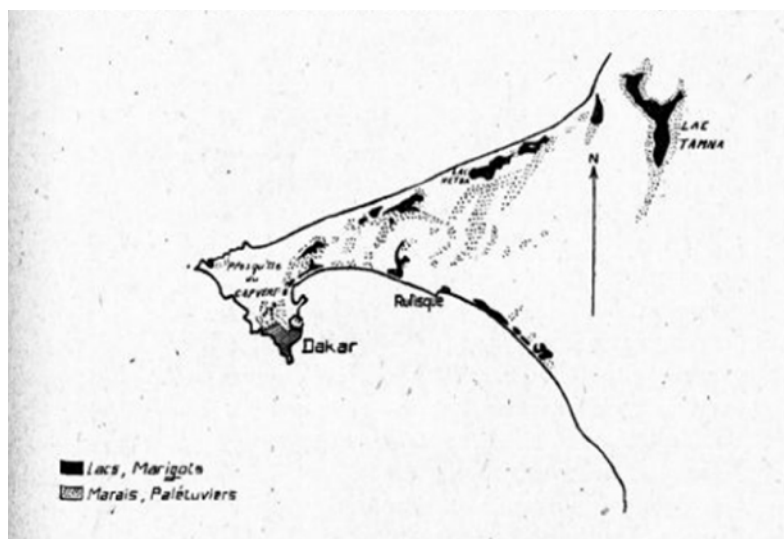
### 2.2 Les caractéristiques de l'environnement Dakarois

Dakar dispose de plusieurs spécificités, dont celui d'être une ville du sud regroupant les différents problèmes et défis souvent propres à ces dernières (croissance urbaine, occupation spatiale déséquilibrée et désordonnée, densification du bâti et crise du logement, problèmes d'assainissement et de gestion des déchets,...) (Dubresson & Raison, 2003) et d'avoir en même temps une configuration particulière. En effet, bien que très urbanisée, "Dakar-la-verte" présente des zones végétalisées (parcs) et humides (les niayes<sup>23</sup> et céanes) propices au développement anophélien. Le milieu urbain, faisant d'abord pression sur ces zones naturelles a été en premier lieu un frein au développement de gîtes larvaires, même dans des zones climatiques favorables à la constitution du complexe pathogène (Mouchet et al 1993). Nous pouvons revenir sur les travaux plus anciens sur Dakar. La ville est en effet étudiée du fait de sa position carrefour entre voie terrestre et voie maritime- raison notable due à son rang de capitale de l'AOF (L'Afrique Occidentale Française) en 1902. Les premiers travaux ont portés principalement sur la recherche des gîtes de développement anophélien et recensent les zones présentant des écosystèmes favorables aux espèces vectrices. Ils soulignent déjà la relation qui existe entre type de milieu urbain et variété de moustiques et perçoivent par leurs observations de terrain que certaines espèces anophéliennes ne pondent que dans des eaux

<sup>23</sup> Les niayes sont des dépressions interdunaires, en arrière du cordon littoral. Outre l'eau qui s'accumule en saison des pluies, des affleurements de la nappe phréatique maintiennent une humidité quasi permanente. (Léger & Baury, 1922 ; Gilly, 1934)

stagnantes relativement propres et non souillées de divers rejets domestiques (savon, matières fécales,...). La première carte de risque anophélien, réalisée par Cazanove en 1931, indique que toutes les parties de la ville sont inégalement exposées (Cazanove, 1932). Quelques années plus tard, une carte de la région (voir la figure 15) présente une localisation des niayes et marigots, qui constituent des systèmes originaux particulièrement favorables au développement anophélien. Dans ces dépressions inter-dunaires, les collections d'eau sont pérennes et les habitants y pratiquent la culture maraîchère. Les auteurs précisent que, *de facto*, ces exigences écologiques entretiennent une transmission pérenne du paludisme dans la région (Canton & Franceschi, 1939).

**Figure 15 : Localisation des niayes et marigots dans les années 30**



Dans l'esprit d'une lutte antivectorielle, des poissons larvivores (tels que les *Gambusia*, originaires d'Amérique centrale et de l'est de l'Amérique du nord) sont introduits dès les années 30, dans les céanes de la ville de Dakar. L'objectif de cette lutte biologique est de maintenir Dakar et ses environs en zone hypoendémique malgré plus de 6 000 céanes largement réparties sur la presqu'île du Cap Vert (Machault, 2010).

### 2.3 Les recherches récentes sur l'agglomération : état des lieux

Les préoccupations sur le paludisme urbain sont donc anciennes et nécessitent d'être continuées. Le lien entre urbanisation et risque anophélien mérite d'être précisé et analysé, tandis que les profils des populations exposées au risque n'ont pas encore été dressés. Dans les années 1980, des auteurs ont continué à explorer ces questions, s'intéressant notamment à la ville nouvelle de Pikine. Elle a en effet beaucoup retenu l'attention du fait de son hétérogénéité qui autorise la persistance d'enclaves cultivées au centre de la ville (Mouchet, 2004). Des épidémies saisonnières dues à la présence d'une espèce liée aux pluies durant la saison de l'hivernage, *Anophele arabiensis*, sont relevées (Vercryusse & Jancloes, 1981 ;



Vercyusse et al., 1983). Une autre étude souligne que la présence anophélienne dépend d'un gradient : le nombre décroît en fonction de la distance aux points d'eau (Trape et al., 1992). Plus récemment encore, des études montrent que cette fois-ci dans la ville de Dakar (particulièrement dans le district sud de la ville), la densité larvaire est très faible et la transmission quasi-nulle (Diallo et al., 1998 a et b). Pourtant, dans le même temps, le paludisme est la première cause de consultation dans les centres de santé. Cela nous renvoie à la fiabilité du diagnostic et à la surestimation des données. Les auteurs concluent à une très grande variabilité du paludisme en milieu urbain en fonction de la structure même de la ville (par exemple ici entre Dakar et Pikine) et signalent que le risque épidémique potentiel, en cas de fortes pluies est non négligeable. C'est une des difficultés que nous trouvons dans l'analyse de données transversales. Sont-elles le reflet d'une situation exceptionnelle ou représentent-elles le visage classique de la transmission saisonnière du paludisme à Dakar ? Sans comparaison dans le temps, nous ne pouvons pas reconstruire les dynamiques de l'épidémie.

De ces divers obstacles et à la lumière des acquis des recherches précédentes, demandons-nous alors avec quels moyens et méthodes nous pouvons améliorer nos connaissances du risque de paludisme-infection en ville. Avant d'établir un protocole méthodologique visant à éclairer la situation de la capitale Sénégalaise, nous proposons de détailler, justifier et commenter les orientations disciplinaires que nous avons souhaité suivre, afin de tirer profit des cultures géographiques et des chemins déjà balisés par des travaux de recherches antérieurs ou concomitants.



## CHAPITRE 3. De l'intérêt du raisonnement géographique sur un fait de santé - Enjeu et positionnement de recherche

---

Nous avons souhaité ici nous poser quelques questions identitaires, s'interrogeant sur les implications et les enjeux induits par une recherche sur le paludisme urbain à Dakar. Cela n'a pas la prétention de proposer une réflexion épistémologique exhaustive sur les différents courants de la géographie qui nous ont influencés. Il s'agit simplement de s'interroger sur un capital antérieur -constitué d'auteurs et de publications qui ont balisé notre parcours, afin de tester l'intérêt actuel et le degré de pertinence de notre question de recherche et du cheminement choisi pour la traiter. Par conséquent, nous avons été elliptiques sur certaines parties de l'histoire de la discipline et de ses courants. On notera donc au préalable que la géographie tropicale est principalement vue sous le prisme d'une africanité, dans ses mouvements et auteurs francophones. Il en est relativement de même pour la géographie de la santé où nous exposons très peu les visions outre-Atlantique.

### 1 L'étude géographique du paludisme à Dakar, enjeux de recherche

Il peut paraître au départ un peu restrictif de ne se confronter qu'à une seule pathologie dans un espace, restreint à une agglomération (bien qu'elle abrite plusieurs millions d'habitants). On aurait pu s'attendre à une approche comparative : le paludisme à Dakar et à Brazzaville par exemple. Quelles logiques similaires dans la réalisation de la chaîne épidémiologique? Quelles différences? Quelles considérations plus globalisantes puis-je me permettre face aux points communs d'analyses des deux espaces? Classiquement, nous aurions aussi pu faire le choix d'étude d'un seul espace, ici le milieu urbain africain à travers Dakar, mais d'y proposer un "diagnostic territorial de santé" (voir par exemple les travaux de Salem sur Pikine, 1998 et encore de nombreuses travaux de géographie ou d'épidémiologie dans la veine de ce qui se fait au département de géographie à Paris Ouest Nanterre<sup>24</sup>). Les pathologies les plus courantes, celles qui provoquent le plus de motifs de consultations peuvent faire l'objet d'études descriptives et analytiques. L'objectif est de comprendre au mieux la distribution des cas de morbidité et de mortalité de chacune des maladies et chercher ce qui engendre les disparités de santé décelées (George, 1979). L'ajustement du système de soins existants aux besoins de santé est aussi, dans ce cas, l'objet d'interrogation majeure (Franckel, 2004). La somme de connaissances dont fait état ce genre d'étude est loin d'être dénuée d'intérêt et d'utilité sociale. Cependant, ce ne sont pas ces perspectives qui ont été choisies. Il y a bien sûr des questionnements qui ont été posés dans l'orientation même de ces études et que nous avons repris. Par là-même, la définition de la santé classiquement proposée par l'OMS depuis 1946<sup>25</sup> souligne l'existence de rapports complexes entre "être en bonne

---

<sup>24</sup> <http://dep-geo.u-paris10.fr/departement-de-geographie-et-amenagement/enseignement/master-geographie-sante-territoires-et-environnement-geosante-207556.kjsp>

<sup>25</sup> « La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. »

santé"-entendue comme une opposition simplement antonymique à "être malade", et se sentir en bonne santé, dans le sens de se percevoir en bonne santé. C'est alors par exemple, selon le mal-être dans lequel l'individu se trouve et en fonction de ses possibilités financières, sociales, sa mobilité ou ses habitudes, que ce dernier désirera consulter ou non. Ces réflexions ont été intégrées à notre étude, prenant en considérations les comportements des citoyens face à l'infection palustre. Il nous a semblé nécessaire, afin de mener à bien notre entreprise, de se focaliser dès lors uniquement sur le paludisme. Il est cohérent de ne prendre le temps d'étudier qu'un espace dense, hétérogène, ouvert sur le reste du monde et son rapport à une pathologie qui, si pour l'heure, semble médicalement maîtrisée, n'en reste pas moins un problème de santé crucial (Kerouedan, 2011). Le paludisme est en effet aujourd'hui un problème plus social que clinique (OMS, 2002). C'est en cela que cette pathologie est intéressante. D'un côté elle est l'apanage d'un fait climatique, physique, autorisant les caractères paysagers à supporter le développement et la prolifération d'espèces vectrices, de l'autre elle dépend du rapport existant entre ces anophèles et l'homme, tant hôte réservoir qu'hôte récepteur. Dans le milieu urbain, ces relations ne sont pas linéaires. Le recoupement d'espaces partagés entre le vecteur et l'hôte est complexifié par le processus d'anthropisation des paysages urbains (Donnelly et al., 2005). Ainsi, outre l'intérêt d'une étude spécifique sur le paludisme en ville, nous avons pu trouver dans ce contexte, un prétexte à des interrogations théoriques et méthodologiques de première importance sur les conséquences sanitaires de l'anthropisation des milieux, les leviers d'action du chercheur dans la construction d'un savoir scientifique et son utilité potentielle dans la résolution d'un problème social.

De plus, cette cohérence : une maladie - un espace, est légitimée par un cadre de recherche opportun. L'intégration dans un programme de recherche, l'ANR ACTUPALU (ANR-07-SEST-001) a permis *de facto* de poursuivre une étude sur le paludisme déjà entamée en amont du doctorat. Nous avons en effet expérimenté les intérêts de la recherche sur cette maladie vectorielle dans un contexte de recherche précédent, à Brazzaville<sup>26</sup>. Comme le chapitre 1 le souligne, nous avons pu voir que le paludisme n'est plus un problème d'ordre médical, et l'efficacité de l'arsenal thérapeutique actuel dépend plutôt des contextes écologiques, socio-économiques, ou encore du comportement des populations des zones impaludées (concernant la situation générale, de nombreuses références existent, on en retiendra trois à titre d'exemple : Kiechel & Pécou, 2007 ; Greenwood et al., 2008 ; Millet, 2011. Concernant le Sénégal, voir RBM, 2010). Si la présence palustre se distingue à Brazzaville, où la transmission est holoendémique tandis qu'à Dakar elle serait plutôt saisonnière et *ipso facto* instable, des similitudes sont visibles dans la distribution anisotrope des cas de paludisme, des gîtes anophéliens et des pratiques de recours aux soins des citoyens

---

<sup>26</sup> Nous avons travaillé dans le cadre d'un projet entre le LPED et le ministère de la santé de la République populaire du Congo, sous la direction d'E. Dorier et de F. Audard. Prolongeant des perspectives de recherche dessinées dans les années 1990, nous avons eu en charge d'explorer la question des rapports entre processus d'urbanisation et géographie du paludisme, les enjeux engendrés et les comportements de recours aux soins des habitants, entre offres et besoins.

(Borderon & Perchoux ; 2009). Après un travail monographique sur Brazzaville, nécessaire pour appréhender les différentes facettes de la pathologie, il nous a paru pertinent d'interroger les possibilités de mise en place d'un protocole méthodologique adapté à un contexte pauvre en données. Les choix de matériaux récoltés, mis bout à bout, doivent peu ou prou créer un ensemble suffisamment robuste pour éclairer la structure spatiale des foyers potentiels épidémiques souvent floutée par les pratiques citadines (comportements de recours aux soins hétérogènes, mobilités des populations,...). Les sous-espaces urbains sensibles au risque palustre pourraient alors être identifiés. Pour ce faire, le cadre de recherche proposé à Dakar semblait idéal (Borderon et al., 2014). Le programme ACTUPALU<sup>27</sup> avait pour objet d'aider à l'amélioration de l'efficacité des nouvelles stratégies thérapeutiques de lutte contre le paludisme, notamment en milieu urbain où le recours aux soins dépend à la fois de facteurs médicaux, sociaux, économiques et environnementaux complexes (Franckel, 2004). La perspective pluridisciplinaire du programme a permis un éclairage global de l'objet d'étude et a invité chaque membre de l'équipe à trouver la juste place que lui autorise ses compétences et son regard, pour nous, géographique. Ainsi, nous avons pu profiter d'un cadre prolifique, celui de la réalisation d'une enquête transversale, tout en restant orienté sur des enjeux précis qui n'auraient pu être aussi bien étayés s'il n'y avait pas eu un apport de connaissances focalisées sur le paludisme, comme objet de recherche unique, et une perspective finale plus globale car pluridisciplinaire.

Notre approche a d'abord été centrée sur le milieu urbain et ses possibilités d'appréhension. Nous avons au préalable cherché à accroître nos connaissances des paysages de la ville pratiquant une démarche et choisissant des méthodes détachées au départ d'une spécialisation "santé". Les méthodes utilisées, détaillées dans la prochaine partie, sont somme toute classiques pour appréhender le contexte urbain. Nous percevrons l'infection palustre comme un risque, celui de donner de manière indirecte la maladie (hôte réservoir) ou, de soi-même, en subir les conséquences. Nous utiliserons les savoirs développés dans les champs des études de cyndénique où le risque sanitaire mérite encore de plus amples considérations (Tolle, 2005 ; Fessler, 2009). En outre, il est intéressant, dans le contexte de la pathologie, de s'interroger sur le caractère éventuellement relatif de la vulnérabilité. Quelle distinction faire entre une vulnérabilité spécifique à l'infection et une vulnérabilité "ordinaire", c'est-à-dire non relative à un phénomène, mais présentée comme une fragilité de l'individu ou des populations face à un choc de quelque nature que ce soit?

Enfin, le choix d'un terrain comme Dakar, n'est pas non plus anodin, considérant la continuité des recherches déjà menées jusqu'alors. Dans le chapitre 1, un bref historique nous a justement rappelé cette position de choix qu'a eu Dakar dans le champ de la santé et des études sur des espaces dits "tropicaux". Nous pourrions noter également ici, la présence dans les mêmes temporalités qu'ACTUPALU, d'un vaste programme de modélisation de

---

<sup>27</sup> ANR 07-SEST-001

l'agressivité anophélienne à Dakar<sup>28</sup>. Le matériel collecté et les résultats issus de la collaboration avec ces chercheurs ont permis d'enrichir et de compléter nos analyses. Un questionnement reste cependant essentiel, notamment lorsqu'on associe plusieurs jeux de données qui n'ont pas la même origine et peuvent être formés d'agréats spatiaux différents : quel espace étudié en commun et quelle pertinence d'échelle pour l'analyse finale?

### 1.1 Définir l'échelle d'étude : de l'intérêt des espaces "du proche"

Le choix de l'échelle d'étude engage une définition des objets de recherche. On s'applique à déterminer l'échelle spatiale à laquelle les variables retenues pour caractériser un espace et un système social ont une valeur heuristique. Le choix de l'échelle est donc fonction des objectifs poursuivis mais aussi tributaire des données disponibles. L'identification des besoins de santé spécifiques et une politique de planification sanitaire peut passer par des échelles fines et opérationnelles : régionales, urbaines, voire intra-urbaines (région, villes, sectorisation, bassin, bassin de santé, frontière). Dès lors à privilégier, les études à l'échelle intra-urbaine ne sont pourtant pas très fréquentes en géographie des maladies (Picheral, 2001 ; Pyle, 1979). Dans la compréhension des déterminants du risque palustre, l'échelle locale est par exemple un maillon essentiel. En effet, dans les zones endémiques, il peut y avoir d'importantes différences d'intensité de la transmission d'une maison à l'autre, d'un village à l'autre, c'est-à-dire même, sur quelques dizaines de mètres (Ye et al., 2007). Dans le cas, du paludisme urbain, cette variabilité peut également être conséquente. Or, si l'on a mesuré l'hétérogénéité anophélienne dans la ville, nos connaissances sur la variabilité spatiale du réservoir humain et du paludisme-maladie reste à investiguer (Pagès, 2008 ; Machault et al., 2011 ; Gadiaga et al., 2011 ). De plus, le paludisme en milieu urbain, ne serait-ce que par la quantité des traitements prescrits, demeure une véritable question de santé publique. De fait, les ségrégations spatiales qui agissent sur la santé se repèrent souvent à l'échelle des quartiers et les besoins de santé doivent être établis à ce niveau-là (Salem, 1998 ; Roudier Daval, 2006). Ceux-ci n'ont pas une capacité identique à se constituer comme ressource sanitaire, sociale et identitaire. En Afrique, 126 millions de personnes, vivraient dans des quartiers défavorisés. Malgré une apparente meilleure offre de soins en ville, la mortalité infanto-juvénile dans ces espaces est quelquefois supérieure à celle trouvée en milieu rural (Akoto, 1993 ; Banque Mondiale, 2001 ; Adjamagbo & Antoine, 2002).

De plus, dans l'objectif d'une volonté politique de contrôle, voire d'éradication de la maladie, ces différents contextes se doivent d'être étudiés conjointement afin d'adapter les mesures de luttres aux diverses situations épidémiologiques qu'ils créent. Les travaux sur la diffusion du paludisme en Sciences Humaines et Sociales (SHS) restent encore peu nombreux

---

<sup>28</sup> Ces investigations, menées notamment par une collaboration entre Medias-France (filiale du CNES), le Pharo, et l'IRD de Dakar ont généré un apport bibliographique substantiel sur les avancées de la télé-santé et les recherches entomologiques en milieu urbain dakarois (notamment Machault et al., 2009 ; Machault et al., 2010 ; Machault et al., 2011 ; Gadiaga et al., 2011)

et les contraintes d'investigation à une échelle fines sont multiples (Pilkington, 2004 ; OMS, 2005 ; Costa Gurgel, 2006 ; Pierrat, 2011). Cela peut s'expliquer en partie par le manque de données (épidémiologiques ou enquêtes de population...) quantitatives, fines et localisées (Eliot & Daudé, 2006). Alors, bien que ce soit « dans l'infinie variété des usages et des pratiques sociales de l'environnement, dans ce rapport complexe à « l'espace du proche », que toute épidémie trouve des terrains plus ou moins favorables à son développement (Harpham & Stephens, 1990 ; Knudsen, 1992) [...], on bute rapidement sur la question de la connaissance de ces contextes locaux, de ces environnements proches à la croisée du spatial et du social et qui déterminent autant de territorialités particulières définissant des conditions variables de survenue et de propagation d'une épidémie » (Taglioni, 2009, p. 1, §1). Les questions de santé publique peuvent aussi s'avouer difficiles à étudier à une échelle fine, car peu de pays fournissent des statistiques spatiales détaillées par quartier. La raison invoquée n'est pas toujours l'absence de collecte de données mais la crainte de nuire à la confidentialité statistique, associée à la peur de faire connaître une réalité spatiale inquiétante dans les lieux clés de l'épidémie (Bailly, 1993). Dans le cas du Sida par exemple, la diffusion de cartographie à l'échelle fine des zones les plus touchées par l'épidémie pose de nombreuses questions d'éthique. Pour revenir à notre cas d'étude, les données officielles à l'échelle intra-urbaine ne sont pas exploitables. Les données de prévalence<sup>29</sup> par exemple sont, lorsqu'elles existent, douteuses et incomplètes. En outre, les données officielles ne sont disponibles que dans certains centres de santé<sup>30</sup> et ne sont pas représentatives de la population vivant dans l'agglomération.

En résumé donc, deux contraintes majeures s'imposent au géographe pour choisir l'échelle d'analyse. D'un côté, la rigueur statistique impose que les individus statistiques agrégés doivent être suffisamment nombreux pour que l'intervalle de confiance soit acceptable et que la variabilité interne à chacune des unités spatiales soit inférieure à la variabilité entre les unités, afin de dégager la structure spatiale du phénomène. De l'autre, cette recherche d'une structure spatiale éventuelle doit se faire à la lumière des facteurs de risque connus de la maladie et de sa distribution spatiale.

---

<sup>29</sup> Le taux de prévalence est le nombre total de cas dans une population déterminée à un moment donné sans distinction de l'ancienneté sur l'ensemble de la population. Il existe aussi, prenant en compte la dimension temporelle, le taux d'incidence qui cette fois-ci, dénombre les nouveaux cas dans une population déterminée pendant une période donnée sur l'ensemble de la population (définition inspirée du dictionnaire français, Larousse).

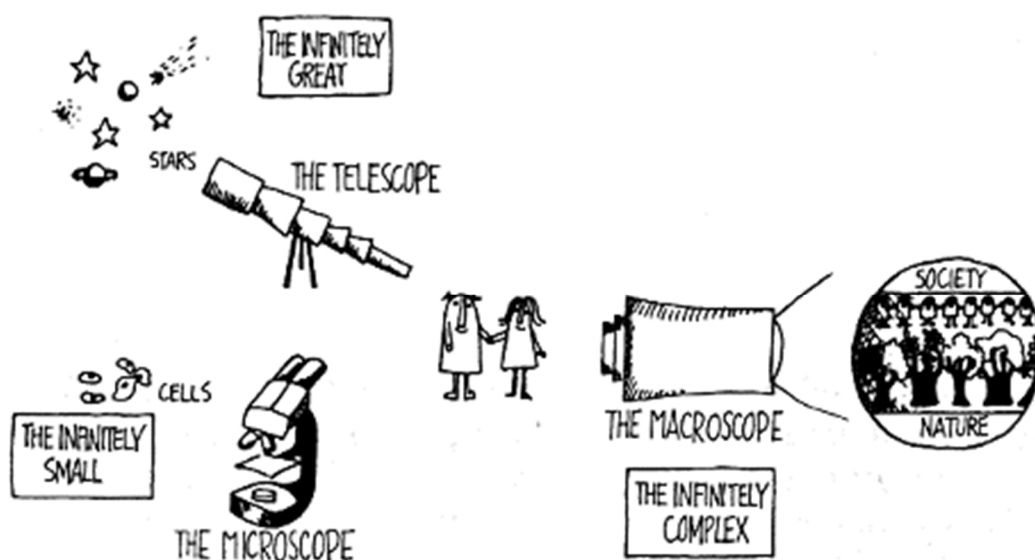
Dans notre cas, l'obtention de taux incidence semble ne pouvoir même être évoquée, alors que nous ne disposons déjà pas de divers taux de prévalence, fiables et concernant les mêmes populations.

<sup>30</sup> Le PNL (programme national de lutte contre le paludisme) s'occupe des données sur le paludisme. Plusieurs problèmes sont néanmoins soulevés et biaisent, particulièrement en contexte urbain, la qualité et la représentativité des données. Voir le dernier rapport (<http://www.pnl.sn/UserFiles/File/donnee.pdf>). Les données à l'échelle intra-urbaine ne sont pas exploitables et certains problèmes peuvent être listés : la récolte de données dans tous les centres de santé n'est pas automatisée, les grèves du personnel médical perturbent la bonne gestion de la base de données qui n'est pas correctement mise à jour, les populations ne se déplaçant pas dans les centres ne sont pas prises en compte alors que l'automédication est une pratique très courante dans l'agglomération. (Données ACTUPALU - thèse de Koné et Ndonky).

L'absence d'indicateurs de santé disponibles oriente ainsi les premiers choix méthodologiques. D'abord, il va nous falloir pallier ce manque par notre propre collecte de données primaires, ensuite, les données socio-économiques, paysagères ou plus largement sur l'environnement urbain, vont servir de proxy pour établir de manière plus indirecte la géographie du paludisme en ville. Il nous faut donc déterminer un niveau d'analyse commun à ces différentes données. Si l'agrégat spatial choisi doit respecter une certaine homogénéité dans les objets qu'il réunit, une échelle trop fine ne donnerait pas de résultats satisfaisants non plus. Si la contrainte statistique précisée précédemment en est une des raisons, la résolution spatiale suffisamment grossière permet également de s'affranchir du bruit inévitable qui s'imisce à une résolution trop fine<sup>31</sup> (source originale : Arbia et al., 1996). , C'est pourquoi, comme l'a écrit G. Salem, « un phénomène de santé ne s'exprime pas toujours de la meilleure façon à l'échelle la plus fine; des agrégations spatiales raisonnées peuvent être porteuses de sens non fourni par des informations individuelles, ou regroupées à des échelles fines » (Salem, 1998 ; p. 52). Plus l'échelle spatiale est grande, plus les unités gagnent en homogénéité, les indicateurs et les paramètres en valeur. Les détails et les irrégularités s'estompent, ayant pour effet de lisser les discontinuités. Toute question de recherche s'accompagne donc toujours d'une question de cet ordre : si certaines précisions sont primordiales et doivent être visibles à l'échelle d'analyse, jusqu'où s'arrêter dans le détail ?

Ainsi, de l'individu au groupe, ces choix de niveau d'analyse et de variation de formes nous rappellent une analogie célèbre, notamment dans le monde de la systémique : la création " conceptuelle " d'un nouvel instrument parfaitement ajusté pour observer à la bonne échelle les liens nature-société, soit en d'autres termes l'œkoumène (De Rosnay, 1975) :

Figure 16 : Première figure de l'ouvrage *Le macroscope*



<sup>31</sup> Nommée parfois la seconde loi de la géographie, la citation originale est la suivante : «Everything is related to everything else, but things observed at a coarse spatial resolution are more related than things observed at a finer resolution»



Ce microscope permet d'étudier l'infiniment complexe, c'est-à-dire qu'il voit un système complexe<sup>32</sup> "en grand " (il prend les objets d'étude dans leur environnement, comprenant dès lors les relations de chaque objet avec les autres) et sa vision est synthétique. La représentation du système est dès lors appréhendable et compréhensible par le raisonnement humain : la structure générale du phénomène est observable sans les fioritures des détails inutiles.

Le paludisme devient le nouvel angle d'approche nécessaire à l'ouverture d'une nouvelle fenêtre d'observation sur la société. Mais alors, où et surtout jusqu'où regarde-t-on? Définir une zone d'étude, c'est isoler en quelque sorte un espace. La coupure doit être justifiée : dans notre cas, la cohérence d'une étude à l'échelle de l'agglomération dakaroise ne doit pas nous faire oublier que la chaîne épidémiologique palustre peut comporter des maillons hors des limites de la zone étudiée. Il se passe des événements pouvant déterminer les caractéristiques de l'épidémie, hors de l'espace d'étude. Les populations se déplacent entre les différents sous-espaces urbains de l'agglomération mais aussi en dehors de la ville, ce qui révèle qu'une part de l'explication de l'épidémie est à rechercher auprès de ces comportements humains contextualisés (Taglioni, 2009). Ce n'est d'ailleurs que très récemment que le paludisme en milieu urbain est considéré comme endogène (dans le cas de Dakar ; voir Pagès, 2008). Le parasite vient et circule de l'extérieur de la ville jusque dans ses paysages les plus densément peuplés. Mais le nombre de cas de paludisme-maladie dans l'agglomération s'explique-t-il par une infection qui a eu lieu à l'extérieur, lors d'un déplacement dans une zone impaludée? Doit-on comprendre la distribution des cas de paludisme par le comportement et la mobilité des citoyens ou est-ce que ce sont les caractéristiques paysagères de certains sous-espaces urbains qui permettent la réalisation du processus de transmission? Bien sûr, l'affirmation des propositions n'est pas disjonctive. L'encart suivant nous précise qu'on ne peut cependant (et malheureusement pour l'instant) faire une distinction entre les cas de paludisme d'importation ou endogène dans la plupart des milieux urbains africains et qu'il faut souvent se satisfaire d'une analyse indifférenciée.

**Encadré 4 : De la difficulté de distinguer le paludisme endogène du paludisme d'importation...**

Il serait *a priori* utile de pouvoir déterminer l'endroit où a eu lieu l'infection. Nous pourrions distinguer les cas de paludisme dits "importés" et ceux résultant d'une transmission locale secondaire, c'est-à-dire le cas où un citoyen se fait piquer en milieu urbain par un

---

<sup>32</sup> Un système complexe est par définition un système que l'on tient pour irréductible à un modèle fini quels que soient sa taille, le nombre de ses composants, l'intensité de leur interaction. Pour un observateur, il est complexe parce qu'il tient pour certain l'imprévisibilité potentielle des comportements. La complexité est une propriété attribuée au phénomène observé par l'acteur du fait des représentations qu'il s'en fait. Or le phénomène peut juste s'avérer compliqué puisque déterminé et réductible à un modèle unique et complètement calculable. (Le Moigne, 1999).

moustique après que l'organisme de ce dernier a lui-même été contaminé lors d'un repas de sang sur un individu impaludé. La transmission locale secondaire pourrait être confirmée lorsque l'hôte humain ne s'est pas déplacé en dehors de la ville dans un laps de temps donné. Dans ce cas seulement, il est confirmé que l'infection a pu avoir lieu localement. En revanche, lorsque l'individu a voyagé, il n'est pas possible de s'assurer que l'infection a bien eu lieu à l'extérieur de la ville. Excepté bien sûr s'il s'est déplacé dans un environnement exempt d'espèces vectrices. Des études ont montré que le lien pouvait être très fort entre déplacement en milieu rural, souvent plus impaludé et accès palustre (voir par exemple Martens & Hall, 2000). En outre, dans le cas de l'agglomération de Dakar, les enquêtes menées dans le cadre d'ACTUPALU ont montré que, chez les enfants, il y avait une corrélation forte entre le fait de déclarer un voyage hors de l'agglomération pendant l'hivernage et le portage asymptomatique de *Plasmodium* (Diallo et al., 2012a). Nous pouvons dès lors supposer qu'une partie des infections semble bien avoir eu lieu à l'extérieur du milieu urbain, et qu'une mobilité en zone impaludée peut devenir un facteur de risque<sup>33</sup>.

En outre, et ceci à visée descriptive, il est tout de même possible de cartographier dans l'agglomération urbaine les espaces de recoupement des aires de chaque composante de la chaîne épidémiologique qui correspondraient ainsi aux aires potentielles de réalisation d'une transmission locale. On pourra affirmer dès lors qu'en certains espaces la probabilité d'une piqûre infectante est forte, tandis qu'ailleurs elle peut être beaucoup plus faible voire nulle.

Ce faisant, c'est bien une modélisation des espaces à risque palustre à l'échelle intra-urbaine qui devient intéressante dans la perspective d'amélioration des connaissances et de maîtrise du paludisme en ville. En d'autres termes, cela implique la reconnaissance des tissus urbains susceptibles d'être des foyers épidémiques et donc des lieux de circulation du parasite. Cette évaluation est d'autant plus délicate que, malgré l'étendue limitée du milieu urbain, il comprend une grande diversité de paysages, de populations, de cultures, de croyances et de niveaux socio-économiques qui peuvent moduler et complexifier cette géographie du risque. Cet objectif de modélisation nous amène alors par le truchement de l'analyse de l'environnement humain et métapopulationnel (le moustique vecteur) à questionner ce qu'on pourrait nommer l'écologie du paludisme.

## 1.2 Une approche d'écologie humaine : liens entre l'écologie et la géographie

L'analyse des faits de santé en géographie revêt une vision parfois très proche de l'écologie humaine, en étant *de facto* obsédée par les relations entretenues par les hommes et leur environnement tant physique que social. Pour J. Robin, (1991) « L'objectif d'une écologie scientifique humaine (...) est de mesurer ensemble le social et le biologique, et de

---

<sup>33</sup> Récemment, de nouveaux projets de recherche se basent sur l'utilisation des téléphones portables pour suivre les mobilités des populations et leur risque de s'infecter en dehors de leur espace résidentiel (Wesolowski et al., 2012 ; Buckee et al., 2013).

tenir compte des conditions d'autonomie nécessaires au développement de l'homme vis-à-vis de son environnement naturel et social. » Cependant, au-delà de maintes similitudes, certaines divergences d'orientations semblent demeurer entre les deux sciences. Pour C. Raffestin (1995) ces deux disciplines restent profondément anthropocentriques, mais l'écologie humaine, elle, tient compte de la biosphère non humaine et raisonne sur les processus et les flux d'un système circulaire (donc fermé), ce qui n'est pas le cas dans la vision géographique en général. En ce qui concerne la biosphère non humaine, une partie notable des géographes européens n'a pas de considération pour un état de nature existant sans l'homme. Ils perçoivent l'environnement comme un construit, en quelque sorte hybride, qui intègre éléments naturels et données sociales (Veyret, 2007). Nous partageons cette vision, qui légitime et démontre que les problématiques environnementales sont mieux comprises lorsqu'elles sont abordées et perçues comme des enjeux de territoires. Les territoires sont des espaces aux attributs physiques et sociaux, lieux de fabrique de paysages multiformes dont il est possible de trouver une empreinte humaine même discrète (Arnould & Simon, 2007). Dans ce cas, les géographes raisonnent en cherchant à extraire l'homme d'une nature "naturelle", percevant que tout milieu est anthropisé, et ils s'éloignent des visées naturalistes (Veyret, 2007). Cette vision n'est pas forcément partagée sur les autres continents. Une critique pertinente, d'H. Regnauld sur cet ouvrage dirigé par Y. Veyret, complète : « Le dictionnaire discute à l'envi de l'absence d'état zéro de la nature ». Il n'existe pas, selon lui d'état de référence qui permettrait de définir une nature "vierge", sinon dans l'esprit de ceux (les écologistes) qui souhaitent la sacraliser pour des raisons non-scientifiques. « Les hommes ont parcouru tout le globe depuis des millénaires et ont partout laissé leurs traces si bien qu'il n'existe nulle part de nature non humanisée. Une telle conception est indubitablement vraie pour l'Europe. Il n'est pas possible de l'étendre telle quelle au continent américain, qui a bien connu deux grands types d'environnements différents, un sans les apports des Blancs, l'autre avec leurs apports. Il y a dans ce cas, sinon un état zéro, du moins deux états distincts, bien que tous deux anthropisés. Enfin cette conception devient fausse pour la Nouvelle Zélande et nombre d'îles (La Réunion, les Galapagos, les Falklands) dont on connaît l'état "écologique", avant tout contact avec les hommes. L'idée d'une "nature vierge" n'est donc pas qu'un rêve de la *deep ecology*, c'est aussi un cadre conceptuel qui permet de comprendre comment fonctionne un milieu non anthropisé. C'est à partir de cet état de "nature naturelle" que de nombreux travaux anglo-saxons essaient de réfléchir à la portée, ou à l'ampleur des transformations que les groupes sociaux ont apportées à leur environnement ».<sup>34</sup>

De plus, concernant les différences et similitudes entre écologie et géographie, on reproche souvent aux géographes, *a contrario* de la vision circulaire des écologues, de développer des réflexions sur un système perçu de manière linéaire comme si la terre était dotée de ressources infinies (Raffestin, 1995). Il semble aujourd'hui que la discipline a laissé derrière elle cet écueil. La prégnance dans les recherches des systèmes à causalité circulaire et

---

<sup>34</sup> [http://www.nonfiction.fr/article-986-lenvironnement\\_vu\\_par\\_une\\_seule\\_discipline.htm](http://www.nonfiction.fr/article-986-lenvironnement_vu_par_une_seule_discipline.htm) - H. Regnauld

l'importance des problématiques sur l'irréversibilité des phénomènes en sont des exemples (De Rosnay, 1975). En outre, justement parce que la biosphère est reliée à l'homme et a des conséquences sur son existence, le géographe s'y intéresse (pensons notamment aux nombreuses études orientées plutôt du côté de la géographie physique par exemple...). Cette vision décrite donc par C. Raffestin dans son développement sur les rapports entre géographie et écologie humaine- que nous avons certes considérablement résumé ici- semble avoir remarquablement évoluée. Le géographe, en phase avec son temps et dans l'obsession légitime du développement durable, s'est rapproché des concepts et points de vue de l'écologie humaine, en essayant de comprendre comment s'organisent les modalités d'adaptation des hommes dans leurs milieux de vie (Dubos, 1973). Dans une perspective anthropocentrique, la préservation des sociétés humaines passe par une prise en compte de l'environnement quel que soit son degré de nature.

D'un point de vue méthodologique, l'émergence de l'écologie du paysage et son utilisation substantielle par les géographes, constituent dès les années 70, un bon exemple des liens existants entre les deux disciplines. Elle s'intéresse à l'interaction entre l'organisation de l'espace et les processus écologiques. En France, des spécialistes de géographie physique de sensibilité biogéographique se sont fait une spécialité de cette question du paysage (G. Bertrand, G. Rougerie), y intégrant notamment une prise en compte de la perception des acteurs. Partie du même type d'approche biogéographique, l'école de Besançon (T. Brossard et J. C. Wieber) décompose le complexe paysager en trois types de sous-systèmes :

- le sous-système producteur du paysage, composé d'éléments à la fois naturels et anthropiques
- le sous-système d'utilisateurs (créations de l'observateur, domaine d'appréciation de la dimension esthétique et culturelle)
- le sous-système du paysage visible, niveau intermédiaire entre les deux précédents : ses images-spectacles résultent du premier et donnent la matière au second

Ils concilient alors les dimensions objectives et subjectives que comporte l'étude des paysages. Le paysage est un marqueur pertinent des relations existantes ou ayant existé entre espace et société, notions fondamentales en géographie dont la fusion donne naissance à ce troisième terme tant usité, celui de territoire (pour une vision synthétique des concepts et méthodes d'analyse du paysage, se référer également à Burel & Baudry, 1999). L'objet de la géographie est donc bien un produit : celui né des relations que les hommes nouent avec l'espace (Bailly et al., 2001). Ces méthodes appliquées à un fait de santé tel que le paludisme, qui confronte environnement physique et état social, sont particulièrement intéressantes pour identifier les territoires à risque. Notons que dans des espaces non habités par l'homme, il ne peut y avoir de territoires à risque. Les paysages ne sont pathogènes que lorsqu'ils servent de toile de fond à la présence d'hôtes humains porteurs d'hématozoaires (puis de *Plasmodium*). Il faut donc s'enquérir des liens existants entre les environnements porteurs de « paysages pathogènes » et l'état de santé des populations (Lambin et al., 2010).

### 1.3 Les relations environnement et santé

Les liens entre l'homme et son milieu préoccupent les médecins depuis Hippocrate. Quelle influence le milieu physique exerce-t-il sur l'homme en tant qu'individu biologique ? Ou bien, dit autrement : dans quelle mesure notre état de santé dépend de notre environnement ? C'est bien cette question que nous nous posons lorsqu'on se demande si le paludisme est une maladie environnementale ou sociale. Mais si l'environnement a donc fait longtemps partie de la santé publique, la révolution pasteurienne vient en masquer l'importance au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle, en privilégiant le rôle des germes (Guérin et al., 2003). La médecine atteint alors une sorte d'âge d'or où la devise reine se résume comme suit : "une maladie = un agent pathogène (bactérie, virus, parasite,...) = un vaccin ou médicament". Pourtant, les bactéries et les virus sont bien incapables, par eux-mêmes, de produire des épidémies : il faut bien pour cela qu'ils soient mis en contact, en grand nombre, avec ceux qu'ils vont infecter, souvent par incompatibilité d'ailleurs plutôt que par pouvoir pathogène propre. L'environnement, dans ses différentes composantes, est donc bien le lien entre ces agents pathogènes et la population exposée (Abenhaim, 2003).

Si l'on en revient donc à la période antérieure à la révolution pasteurienne, l'homme malade est relativement bien considéré dans son environnement. Dans cet esprit, de nombreux ouvrages aiment à rappeler que Hippocrate, considéré comme " le père de la médecine ", fut le premier à faire valoir que la maladie était conséquence de facteurs environnementaux, de l'alimentation et des habitudes de vie et non d'un fait céleste (Ayache, 1992). Plus récemment encore, l'âge d'or de la topographie médicale de la seconde moitié du XVIII<sup>ème</sup> en Europe est un bel exemple de prise en compte de l'homme malade dans son environnement. Ces études ont pour objet de décrire « des lieux et des hommes dans leur relation de santé et de maladie afin d'éclairer la connaissance, d'une part de l'étiologie des maladies, et d'autre part des moyens appropriés à mettre en œuvre pour préserver la santé et prévenir les maladies » (Rofort, 1987 cité par Amat Roze, 1998, p. 543). L'exemple le plus célèbre en est la cartographie des cas de choléra par J. Snow pendant l'épidémie londonienne de 1854. Cette dernière lui permet de déterminer le foyer de l'épidémie, une borne fontaine de la ville<sup>35</sup>. Si les fondateurs de la microbiologie, Louis Pasteur et Robert Koch, perturbent donc un temps ces relations santé/environnement<sup>36</sup> - en centrant le diagnostic sur l'identification des agents pathogènes, cette vision décline rapidement dans les années 1980. Cela s'explique en partie par les échecs répétés du procédé-un agent pathogène-une solution médicale et le nombre

---

<sup>35</sup> Pour plus d'information : <http://johnsnowbicentenary.lshtm.ac.uk/about-john-snow/>

<sup>36</sup> Il y a en effet une rupture dans la vision générale de la médecine à partir de la révolution pasteurienne mais elle n'efface pas radicalement les liens entre environnement et santé, elle semble plutôt s'y ajouter. C'est en fait notamment dans les espaces où l'environnement semble petit à petit maîtrisé que cette vision n'est plus privilégiée. Le cas additionnel prévaut dans les espaces où certaines populations font face à des situations sanitaires qui sont inéluctablement le fruit d'une inadéquation de l'homme à son environnement (on pense notamment aux diverses phases de colonisation et "d'affrontement" de l'homme "blanc" face à un milieu tropical hostile (Locher & Quenet, 2009).

croissant de résistances médicamenteuses qui voient le jour. L'environnement et la globalité des facteurs de risques sont alors à nouveau considérés :

« Depuis deux décennies, la pression de plusieurs facteurs - montée des sociopathies, résistance de maladies comme le paludisme<sup>37</sup>, recrudescence de vieilles affections, choléra, tuberculose, émergence de nouveaux fléaux, sida, virus hémorragiques, coût de la santé, dénuement des pays les plus pauvres, échec des interventions de la médecine occidentale entre autres, invite à agir autrement et contribue à renforcer les politiques de médecine préventive qui ne peuvent être efficaces qu'une fois pesés tous les facteurs d'une maladie »

(Amat-Roze & Gentilini, 1995 cité dans Amat Roze, 1998, p. 545).

C'est ce retour à l'homme et à son environnement qui dicte à G. Brucker et D. Fassin en 1983 cette définition de la santé publique : « Discipline sans frontières, la santé publique embrasse tous les facteurs conditionnant la santé et tous les systèmes de santé. Orientée vers l'action, elle s'appuie sur des disciplines scientifiques diverses, en particulier l'épidémiologie, l'économie, la géographie et les sciences sociales, auxquelles elle demande des outils pour analyser les problèmes de santé » (Brucker & Fassin, 1983). La géographie, forte de sa capacité à appréhender les phénomènes dans leur contexte et leur localisation, est alors bien placée pour accompagner cette évolution. C'est en revanche bien avant les années 80 qu'émergent, notamment en écologie et en géographie, des études sur les liens entre l'homme et le milieu, terme qui semble aujourd'hui désuet et amplement remplacé par la notion d'environnement, bien que le glissement conceptuel ne soit pas simple. Celui-ci est principalement dû aux écarts de sens et aux différentes représentations épistémologiques associées à ces notions (Robic, 1992).

Dans le cas spécifique des maladies vectorielles, on pourrait noter l'influence majeure des travaux de M. Sorre en Europe et de J. May en Amérique, pionniers de la géographie médicale. M. Sorre aurait eu une longueur d'avance en ayant été le premier à développer le concept de complexe pathogène (Akhtar & Has, 2003). Leurs œuvres respectives, tiennent principalement à l'étude de l'œkoumène, les conduisant à prendre aussi bien en compte les milieux physiques que la vie sociale (Sorre, 1933 ; Sorre, 1943 ; May, 1958). Dès lors, que ce soit le rôle du milieu sur l'homme et son organisation sociale, ou *a contrario* les conséquences de l'anthropisation des espaces naturels<sup>38</sup>, les liens entre environnement et santé constituent un sujet d'étude dont l'intérêt n'est plus à prouver. En outre, si rechercher les causes et déterminants des états de santé semble des plus intéressants, nous pouvons également se demander quelles sont les conséquences d'une mauvaise santé sur l'environnement social et

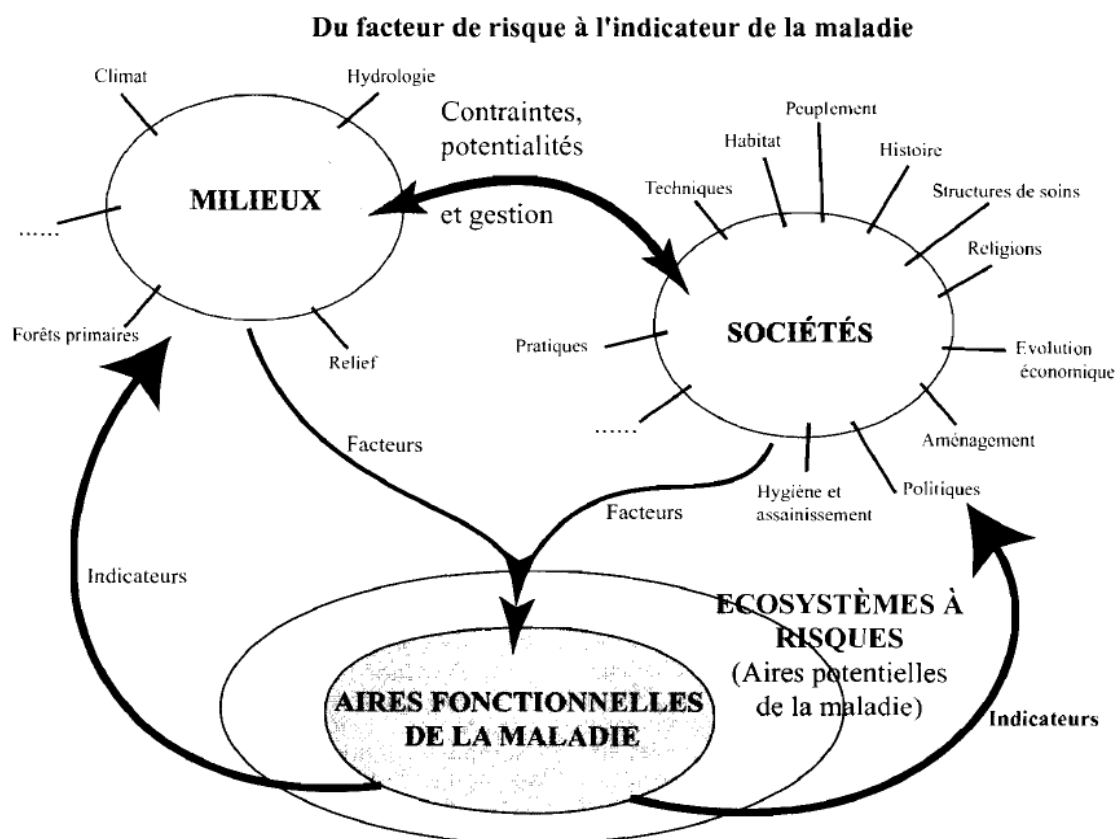
---

<sup>37</sup> Cette acception fait référence à la diffusion généralisée dans les années 80 (notamment sur le continent africain) de l'émergence de la résistance à la chloroquine des souches plasmodiales apparues 20 ans auparavant (Mouchet et al., 2004)

<sup>38</sup> Le paludisme par exemple n'existe bien qu'en présence de l'hôte parasité, ce dernier peut diffuser les parasites par son comportement migratoire par exemple (Mouchet et al., 2004)

matériel, sur les activités et sur la maîtrise de l'espace (Picheral, 1982). Cette vision des interactions plutôt circulaires et des liens systémiques milieu/environnement et santé est résumée ici par un schéma, dans la veine des travaux de M. Sorre et d'H. Picheral sur la détermination des maladies comme des complexes socio-spatiaux : complexe pathogène pour le premier, socio-pathogène pour le second.

**Figure 17 : Du facteur de risque à l'indicateur de la maladie (Handschumacher, Laffly & Hervouët, 2002)**



Cette figure souligne bien que c'est dans la compréhension du milieu physique, des biotopes et de leur inter-influence, sur et par la société, qu'il est possible d'accroître les connaissances nécessaires à la détermination des aires fonctionnelles des maladies. Largement valable pour les pathologies vectorielles, ce type d'étude revêt une importance capitale là où les maladies vectorielles et parasitaires sont particulièrement virulentes. La géographie tropicale a d'ailleurs été d'une grande utilité pour améliorer les connaissances sur l'écologie des maladies. Ce champ de la géographie mérite d'ailleurs qu'on s'y attarde afin de clarifier les apports et les critiques de ce mouvement historique, dont on se demandera s'il a développé une manière et des méthodes spécifiques, qui le placerait à part d'une géographie moins exotique.

## 2 Géographe "entre les tropiques" : retour sur l'existence d'une géographie tropicale

Comme nous l'avons souligné précédemment la géographie tropicale est un mouvement du milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, borné et hérité en partie de la géographie coloniale. Sa teinte naturaliste et son attrait notable pour les espaces ruraux ont nourri ses détracteurs et ont permis, dans des temporalités voisines, l'émergence d'une géographie du développement aux grilles de lectures économiques et politiques, souvent empreintes d'idéologie. Sa démarche se résume majoritairement par une sensibilité et une volonté d'immersion sur le terrain, ce qui rapproche cette méthode de celle de l'ethnographie descriptive. Si la sensibilité est au local pour le choix de l'échelle d'étude, il est bon de souligner la volonté comparatrice née sous la plume du père fondateur de cette géographie tropicale, P. Gourou. En effet, ses écrits, qui l'ont promu chef de file de cette branche de la discipline, sont marqués par une volonté de comparaison permanente dans les exemples choisis et analysés (Sautter, 1975 ; Daveau, 2000).

## 2.1 Qu'est-ce que la géographie tropicale?

Si les premières marques de cette géographie ne sont perceptibles qu'à partir des années 30, c'est que le monde tropical n'est guère accessible avant la période de l'entre-deux-guerres. En effet, les voyages sont longs et coûteux et les carrières d'enseignants se déroulent en France (Solotareff, 1996). Puis, la nomination de professeurs en Indochine et la création de l'IFAN (Institut Fondamental d'Afrique Noire) autorisent les premiers balbutiements de la recherche sous les tropiques. Il faut attendre 1940 pour que la géographie tropicale puisse s'organiser. La parution de la thèse de C. Robequain sur le Thanh Hoa en 1929 peut être considérée comme l'acte de naissance d'une géographie tropicale d'inspiration vidalienne. Du côté de l'Afrique coloniale, ce sont les instituts établis dans les grandes aires culturelles comme les lycées et alliances françaises qui fournissent bourses et postes à des générations de chercheurs (Solotareff, 1996). Les premiers travaux mettent l'accent sur les contraintes environnementales qui pèsent sur ces milieux (comme la pauvreté des sols (Gourou, 1947) ou encore les obstacles que constituent les complexes pathogènes qu'on ne sait pas encore éradiquer ou contrôler, révélés par la géographie médicale (Sorre, 1933)). Mais la marge de manœuvre des travaux est souvent limitée avant la seconde guerre mondiale. Dès lors, le contexte le plus favorable au développement d'une recherche scientifique, dans et sur le monde tropical, a lieu entre les années 40 jusqu'aux indépendances, au début des années 60. C'est en 1943 qu'est créé l'ORSC (l'Office de la Recherche Scientifique Coloniale), qui changera de nom entre 1944 et 1953 pour être tour à tour l'ORSOM (Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer) puis l'ORSTOM (l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer). L'objectif de l'Institut est de constituer un corps de chercheurs ainsi qu'une formation scientifique spécialisée dans le monde tropical. Ces centres de recherche dans l'outre-mer français se constituent petit à petit en réseaux. Il faut attendre 1965 pour que l'ORSTOM se dote d'une section de géographie. La logistique, l'insertion institutionnelle et les finalités utilitaires ou académiques commandent, en outre, le type de travail qui se fait hors



de l'hexagone en région chaude. Puis le processus de décolonisation change la donne. « On ne peut échapper au fait brutal que nous sommes là-bas au service d'appareils d'Etat qui contrôlent totalement l'accès à l'information et sont seuls à même d'utiliser (à leur profit) nos travaux, qui sont maîtres de notre présence, demandée ou tolérée » (Marguerat, 1976, p. 11 cité dans Bruneau & Courade, 1984). Le contexte scientifique dépend alors de la stabilité politique des pays nouvellement indépendants et de la nature des relations entre la France et ces derniers.

La tropicalité se ressent dès lors dans les parcours professionnels, le rapport au terrain, les rites initiatiques, les inventaires à fournir et le poids du contexte socio-politique local qui peut peser lourdement sur le chercheur. Pour Bruneau et Dory, il y a lieu de distinguer deux populations de tropicalistes : les professionnels de la coopération et les "missionnaires" dont l'univers de contraintes est rarement identique (1984, p. 72). Et progressivement, ces marques, qui ne sont encore que les rudiments d'une géographie tropicale française vont être institutionnalisées. Cela est dû notamment à la sortie d'un ouvrage de P. Gourou *Pays tropicaux, principes d'une géographie humaine et économique* (1947), qui lui vaut la création d'une chaire de géographie du monde tropical au Collège de France (1947). Il en sera le titulaire jusqu'à sa retraite en 1970. Figure de proue du courant de géographie tropicale, l'encart suivant résume brièvement son œuvre. Enfin, au niveau des débats et des publications prolifiques qu'il entraîne sur le monde tropical, nous noterons la création d'un laboratoire du CNRS, le CEGET (Centre d'Etude de GEographie Tropicale) à Bordeaux en 1968.

#### **Encadré 5 : Pierre GOUROU, chef de file par écrit**

Si P. Gourou peut légitimement être considéré comme le père fondateur de la géographie tropicale, ce n'est sûrement pas dû à une volonté de se constituer en maître de ce champ disciplinaire et à s'entourer de spécialistes. Homme décrit comme plutôt solitaire, il devient chef de file du mouvement par la qualité et les répercussions de son œuvre prolifique (Robic, 2008). L'œuvre de Gourou présente une très grande continuité, avec une problématique récurrente sur les relations entre les hommes et les milieux naturels. Nous pouvons diviser son œuvre en trois étapes distinctes :

- l'étape initiale s'accorde dans le temps avec l'invention de la géographie tropicale, la première édition de *Les pays tropicaux* en est le terreau : une vision teintée de naturalisme du monde tropical plutôt pessimiste : les Hommes se doivent de cultiver des sols fragiles, peu fertiles alors même qu'ils sont au prise avec un milieu épidémiogène virulent. Sans croire à une forme de déterminisme naturel, Gourou convient que le climat et le milieu sont des contraintes fortes. Dans la veine de la géographie coloniale, il pense que l'intensification des cultures d'exportations dans un cadre économique de libre échange permettra aux populations d'accéder à une forme de "civilisation supérieure". Très attentif aux paysages, cette expression ne doit pas être entendue autrement que comme la possibilité des populations à

fixer durablement dans les paysages des traces (notion de paysage humanisé) et à se fixer elle-même durablement selon de fortes densités de peuplement.

- la seconde étape pourrait éclairer l'antagonisme perçu dans cette géographie : alors même que Gourou récuse tout déterminisme naturel, comment peut-il se faire promoteur d'une géographie zonale qui fait des tropiques une sorte de réalité géographique? Il étaye dès lors son argumentation. C'est qu'entre les relations homme/milieu, il ya un filtre, celui de la civilisation. Nous pourrions percevoir ici les prémices d'une géographie culturelle, barrière à toute forme de déterminisme naturel. Par la suite, cela est notamment perceptible sous la plume de J. Gallais (Rétaillé, 1999). En outre, la terminologie de P. Gourou sur les techniques d'encadrement en est le symbole (une explication synthétique de ce qu'il définit comme géographie culturelle est disponible à la p. 72 de l'article de Bruneau et Georges « à l'ombre de "la pensée Gourou" », 1984). C'est justement le filtre de civilisation chez Gourou qui permet de comprendre l'écart entre "les tristes tropiques" de ces premiers ouvrages et l'optimisme pondéré dont il fait montre dans ces derniers livres, notamment dans *Terres de bonne espérance : le monde tropical* (1982). Il développe dans cet ouvrage, l'idée que le potentiel, notamment agricole des tropiques (de par de nombreux critères naturels positifs tels que l'ensoleillement, la ressource en eau, etc...) pourrait se réaliser s'il s'appuie sur de bonnes techniques d'encadrement.

- la troisième et dernière étape pourrait s'intituler; "P. Gourou face aux problématiques de développement". Dans les années 1970, il s'oppose en effet aux grilles de lectures, bien souvent teintées de marxisme, qui perçoivent la notion de développement et tous ses avatars ("sous-développement") comme une analyse pertinente des pays du "Tiers Monde". Pour lui, le développement ne peut se résumer à l'économie et se mesure sur le long terme. Il explique d'ailleurs dans son dernier livre *L'Afrique tropicale, nain ou géant agricole?* (1991), que l'Afrique ne doit pas s'occidentaliser mais bien suivre des modèles "du sud" tels que l'Inde et elle se doit finalement de préférer les cultures vivrières, tournées vers des marchés africains protégés, à des cultures tropicales d'exportation.

Ces trois étapes détaillées, nous avons choisi de reprendre les mots de M. Bruneau afin de finaliser l'éclairage de cette synthèse de la pensée de P. Gourou :

« la configuration actuelle des paysages humanisés n'est pas directement déterminée par le milieu naturel, comme beaucoup à diverses époques l'ont affirmé, mais résulte de l'interposition d'un troisième terme, qui est la civilisation. Tout au long de son œuvre, Gourou ne cessera plus d'utiliser ce concept, qu'il fera évoluer au fil des années et des publications. À partir de son livre *Pour une géographie humaine* (1973), il définit la civilisation par "ses techniques de production et ses techniques d'encadrement", donnant à cette dénomination une acception plus large que celle de "techniques d'organisation " ou "de contrôle territorial" précédemment utilisée. Il s'agit d'encadrements relevant de la société civile (famille, langage, régime foncier, préjugés, mentalités, religion...) et de la société

politique (cadres villageois, tribaux, étatiques...). Mais en restant délibérément à un niveau descriptif, en renvoyant aux autres disciplines pour leur analyse approfondie, P. Gourou s'est refusé à intégrer son étude des encadrements dans une théorie sociale plus générale ».

(Bruneau, 2000, p. 16).

De manière générale, nous pourrions ainsi dire que, jusque dans les années 60, que ce soit sous les tropiques américains, africains ou asiatiques, l'approche a été celle d'une géographie régionale et rurale classiques, en particulier dans le cadre des grandes thèses tropicalistes (en Asie : chronologiquement C. Robequain et P. Gourou avant la guerre puis J. Dupuis et J. Delvert), ou encore des tomes de la Géographie Universelle de V. de la Blache et Gallois (Sion, 1929) et enfin des livres de P. Gourou (*La Terre et l'Homme en Extrême-Orient*, 1940) ou de C. Robequain (*Le monde malais*, 1946). Cette tradition de géographie régionale s'est perpétuée jusqu'à nos jours, mais s'est profondément renouvelée par les progrès méthodologiques de la recherche géographique francophone, avec en particulier les volumes de la Géographie Universelle de Belin-Reclus (voir Bruneau, 2006). Si on se concentre particulièrement du côté des africanistes du monde tropical, on perçoit également que cette géographie CFA<sup>39</sup> s'est profondément transformée.

« Jusque dans les années 1980, l'auto contrôle disciplinaire se réalisait selon les canons de la logique coutumière : les " aînés " contrôlaient des " cadets " par des systèmes croisés de pouvoirs comme par l'intériorisation d'un seul modèle. Cela faisait de cette géographie africaniste une citadelle longtemps imperméable aux autres géographies (modélisatrices, quantitatives ou de la modernisation), américaines notamment. Sûre de ces méthodes, fière de ses thèses fleuves (Sautter, Péliissier, Gallais, Cabot, Vennetier, Mondjananni, Seck, etc) et de ses rituels de reconnaissance (colloque de Ouagadougou de 1978), elle a intégré lentement de nouveaux thèmes. »

(Courade, 1997, p. 263)

Il fallait connaître l'Afrique profonde des terroirs et villages. Même après les indépendances, les anciennes colonies restaient le pré carré des chercheurs français, dont la socialisation s'apparentait plus à un clientélisme vertical qu'à une socialisation horizontale-démocratique (Solotareff, 1996 ; Courade, 1997). Puis ce modèle ruraliste descriptif dominant se voit appliqué à d'autres contextes, d'autres chercheurs. Les études urbaines apparaissent, bien qu'elles restent des études de terroir transposées (Raison, 1997). Parmi les " pères " de la géographie africaniste contemporaine, c'est sans doute G Sautter qui a le mieux préparé et anticipé la situation actuelle. Il est reconnu comme "un passeur de frontière", un facilitateur à la communication interdisciplinaire (Courade, 1997 ; Robic, 2004). Les objets de recherche

<sup>39</sup> Nommée comme telle dans un article de G. Courade (1997), elle regroupe les anciennes Colonies Françaises d'Afrique.

sur l'Afrique évoluent donc, également en fonction de la place grandissante des différentes formes de modernité. La métropolisation, par exemple, pousse les géographes à l'étude sur l'extension des très grandes villes et des problèmes que cela engendre (problèmes fonciers en relation avec la construction de logements, l'aménagement des infrastructures de transports,...). Dans le même temps, si l'économie est la grille de lecture principale des anthropologues par exemple, G. Balandier, ethnologue africaniste de la même génération que G. Sautter, ouvre la voie à l'anthropologie politique, alors la science politique est jusque-là formelle et étatiste (Courade, 1997). Emmenée par Jean-François Bayard, c'est une nouvelle génération de jeunes chercheurs qui s'engouffre alors dans cette voie et crée en 1980, la revue *Politique Africaine*<sup>40</sup>, dont l'empreinte est décisive sur les chercheurs africanistes de tous bords. Ainsi, la proximité des tropicalistes avec des spécialistes d'autres disciplines travaillant sous les tropiques, doit nous rappeler que les discours et pratiques de la géographie tropicale ont également été influencés par d'autres courants, collègues et parfois amis : historiens, anthropologues, ethnologues, agronomes,...(D'Alessandro-Scapari, 2005) Pour n'en citer que quelques-uns et des plus célèbres : F. Braudel et C. Lévi-Strauss pour la génération P. Gourou ou encore G. Balandier, par exemple, pour la génération P. Pélissier...

Enfin, au niveau académique, les générations de chercheurs formées par les pionniers du courant, vont établir l'enseignement de la géographie tropicale dans les universités et former à leur tour des jeunes chercheurs. C'est par exemple, JP Raison, le chercheur de l'ORSTOM sous la houlette de G Sautter et P Pélissier<sup>41</sup>, qui devient en 1986, notamment avec A. Dubresson, le père du DEA « Géographie et pratique du développement dans le Tiers-Monde » dont le noyau est l'université de Paris X Nanterre (Landy, Lézy & Moreau, 2007). Dans les années 1990, l'importance du courant de géographie tropicale, mesurée ici du côté des africanistes, est donc notable. La concentration des thèses soutenues et inscriptions en thèses sur l'Afrique francophone, reste exceptionnellement importante. Le Congo, le Cameroun, Madagascar, le Mali et le Sénégal sont respectivement les pays les plus étudiés. Du côté des étudiants africains, les lieux d'inscription majeurs sont Bordeaux et Paris. Pour les doctorants français, on retrouve Paris (Paris I et X, l'EHESS - avant 1990 car après il n'y a plus de thèse en géographie de l'Afrique au Centre d'études africaines) et Bordeaux III mais aussi Rouen, Strasbourg et Montpellier (Marguerat, 1982 ; Raison, 1981 ; Raison, 1997).

Enfin, si les objets d'étude de la géographie tropicale ont donc progressivement évolué, comme le glissement du rural vers l'urbain, les tropicalistes ont su transmettre leur méthode et

---

<sup>40</sup> Publiée par les éditions Karthala, *Politique Africaine* est une revue pluridisciplinaire d'analyse du politique en Afrique. Créée au début des années 1980, elle se place en rupture avec les approches alors dominantes. Elle s'est imposée en France et à l'étranger, comme une publication de référence pour l'ensemble de la communauté "africaniste" internationale (Ricard, 2004).

<sup>41</sup> Ce dernier, nommé Professeur à la toute nouvelle Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Nanterre, créé en 1972, le Centre d'Etudes sur l'Afrique noire (CEGAN).

en imprégner les générations qui se sont succédées. La manière d'être sur le terrain et l'exigence d'immersion dans la société "autre" en ont fait partie (Chaléard et al., 2010).

## 2.2 Découvrir l'ailleurs par la pratique : le terrain des tropicalistes

Il est fréquent de lire que P. Gourou par exemple, ou encore P. Pélissier, avaient une relation quasi affective avec le "terrain" (Chaléard et al., 2010). Dans notre imaginaire, la notion de terrain tropical associe le géographe à une forme d'explorateur de contrées encore méconnues, territoires contenant cet ailleurs exotique qui n'est pas l'apanage des géographes de cabinet. Mais est-ce réellement une image sensée? Quel rôle avait le terrain? Était-il pratiqué d'une manière particulière mais commune aux différents tropicalistes? Ce terme pourrait se définir comme un construit créé par le chercheur qui tente de s'approprier l'espace qu'il étudie. En fait, le terrain semble recouvrir trois réalités : il est objet, méthode et "rite de passage", c'est-à-dire moyen d'accès pour une intégration individuelle dans la communauté scientifique (Velasco-Graciet, 2008). La dimension objet recouvre l'étendue, l'espace étudiés délimités que le chercheur peut parcourir, observer, en tirer du "ça voir" (Pourtier, 2003). Il est objet parce qu'il dépend en outre d'une forme de subjectivité de l'observateur, car il est contenu en son sein. Le chercheur est "lui-même une partie de son observation" (Lévi-Strauss, 1968, p. 24). Ensuite, il est méthode.

*Alain Dubresson parlant de Paul Pélissier : « Paul avait écrit quelque part, je ne sais plus très bien où, que le terrain est à la fois un document d'archives, ce qui renvoie à la physiologie des paysages dont tu parlais, et c'est aussi un laboratoire, mais un laboratoire au sens expérimental : j'ai des hypothèses mais il y a des questions qui surgissent auxquelles je n'avais pas pensé et qui du coup font resurgir d'autres hypothèses... »*

(Chaléard et al., 2010, §27).

A l'instar des méthodes d'investigations, des enquêtes de terrain : questionnaire, entretien, analyse paysagère, relevés de différentes natures... la pratique du terrain se fait dans un cadre précis, et les méthodes opérées relèvent de techniques et de savoir-faire, empruntés parfois aux disciplines connexes (ethnologie, anthropologie, sociologie,...) et qui s'acquièrent (Raison, 2000). Enfin, le rite de passage prend un sens particulier lorsqu'on est "ailleurs", nous avons souvent entendu dans la communauté des chercheurs que l'un était africaniste ou encore indianiste... Celui-ci ne sera reconnu qu'après avoir vécu une expérience suffisante, apprise sur "son" terrain.

Il convient, avant de continuer notre réflexion, de préciser que la notion de terrain et ce qu'elle implique n'est en rien spécifique à la tropicalité et que nombre de gageures sont généralisables à la discipline tout entière. De manière générale, il est notoire de constater que la question du terrain se décline au départ comme source et ressource d'informations et de

données dans des espaces où le chercheur ne peut compter que sur lui-même, du fait de l'indigence ou du défaut des institutions (Velasco-Graciet, 2008). Et c'est peut-être ainsi que « le terrain a toujours joué un rôle important pour les géographes effectuant des recherches dans les pays tropicaux » (Pourtier, 2007, p. 437). N'est-ce pas en effet, dans nombre de pays tropicaux, que le chercheur fait face à un manque de sources bibliographiques ou a des problèmes de fiabilité ou d'absence de données statistiques? Le terrain est donc le moyen d'accès majeur à l'information et par la même à la connaissance. Ainsi, « la marche précède la démarche », le terrain est perçu comme une démarche préliminaire du géographe qui l'arpente par les sens. Le terrain est aussi appréhendé comme une ouverture au monde à laquelle « on se livre avant de mettre en livre ». R. Pourtier décrit la démarche inductive sans laquelle la géographie ne saurait être conçue<sup>42</sup>. Il ne faudra cependant pas se méprendre. Si le terrain occupe une place éminente dans la construction du savoir entre les tropiques, les pratiques de terrain, la réflexivité à son égard restent longtemps impensées (Calbérac, 2010). Cette relation affective des tropicalistes avec le terrain s'accorde sans doute des parcours de vie de ces chercheurs indéniablement transformés par l'expérience des voyages, des rencontres et de l'investissement nécessaire à la réussite de ces recherches en milieu tropical.

« Sa disparition est celle d'un très grand géographe au sens fort du terme, c'est-à-dire avant tout d'un géographe de terrain et d'un grand voyageur » (Pour parler de la disparition de J Demangeot, Salomon, 2009, p. 271-272). Cette phrase est évocatrice de l'imaginaire collectif devant le terrain et le géographe semble parfois perçu comme un explorateur scientifique. Et c'est là où le lien entre tropicalité et terrain devient intéressant.. En un sens, elle légitime la pratique de la géographie zonale. Et pour J Demangeot par exemple, la tropicalité ne fait aucun doute. Ce terme traduit bien dans son ouvrage la spécificité des milieux "naturels" inter-tropicaux, c'est-à-dire tropicaux et équatoriaux. Cette zone du monde se caractérise par différents aspects...et c'est "en y mettant les pieds" qu'il est possible de s'en rendre compte... (Toupet, 1999).

Enfin, nous voulions également noter un point important sur la grande majorité des terrains étudiés sous la bannière de la géographie tropicale. Ils sont pour bon nombre d'entre eux, ruraux. Or si la recherche sur l'urbain fut, durant les premiers temps de ce mouvement, indigente voire maltraitée, ce n'est sans doute pas anodin (Velasco-Graciet, 2008). En effet, il ne semble exister aucun paradigme urbain construit à partir de la tropicalité (Louiset, 2011). En fait, l'absence de la ville tropicale est en partie liée aux orientations générales de la géographie. Il est de constat commun que la ville ne constitue pas au départ un objet géographique majeur pour la géographie classique française (Robic, 2003). La ville est rarement abordée pour elle-même, elle se voit plutôt intégrée dans une réflexion plus vaste sur la région, à l'image de l'approche Vidalienne. A partir des années 60 cependant, quelques

---

<sup>42</sup> Les guillemets renvoient au discours de R. Pourtier lors d'une conférence... Propos rapporté d'un café conférence à l'ENS LSH, R. Pourtier, - Non à l'afro-pessimisme, parcours d'un géographe tropicaliste - 13 mars 2003.

auteurs se risquent à l'étude de villes situées en zone tropicale ((Pointe Noire (Vennetier, 1968), Douala (Mainet, 1985), Lima (Deler, 1974), Kinshasa (Pain, 1979), Calcutta (Racine, 1986), Mexico (Monnet, 1993). Mais le prisme de la tropicalité n'y est pas particulièrement mis en avant, et c'est plutôt à travers le prisme de la crise urbaine et les formes originales de développement que ces villes sont étudiées. Frappés par une expansion urbaine multiforme difficilement contrôlable, et par l'accumulation de la pauvreté dans des quartiers d'habitat précaire, ces chercheurs ont même eu plutôt tendance à rejeter le paradigme tropical qui ne leur était pas utile. Ils ont plutôt penché pour l'appréhension des dynamiques d'urbanisation par les grilles de lectures des grandes théories d'inspiration marxiste, le prisme du sous-développement et de la croissance urbaine. Au niveau de la morphologie, les villes sont souvent considérées comme "duales" avec, d'un côté la ville "blanche", coloniale et de l'autre, les quartiers indigènes d'abord liés à la colonisation, puis en rapide croissance après les indépendances. Lié au paradigme du sous-développement, c'est le modèle centre/périphérie qui est promu comme souverain et s'impose à toutes les échelles d'études. Nous pourrions noter l'existence de l'ouvrage généraliste de P. Vennetier au titre évocateur : *Les villes d'Afrique tropicale* (1991). Le qualificatif n'a qu'une vocation à délimiter les villes choisies par leur positionnement dans la zone intertropicale, mais ne comprend pas une démarche spécifique à une géographie urbaine tropicale qui rendrait compte d'un développement urbain spécifique à cette surface de la terre.

Ainsi, des thèses sur les sociétés paysannes à celles sur des villes d'Afrique ou d'Amérique latine, la géographie dite tropicale n'est finalement pas une, mais multiple. D'ailleurs tous les chercheurs ne se revendiquent pas tropicalistes et au sein même du mouvement, les pratiques et discours sont loin d'être uniformes. La géographie tropicale ne serait alors qu'aisance plutôt qu'essentialisme? « Le terme de "tropical" indique-t-il la commodité d'un cadre de travail ou bien l'altérité intrinsèque d'un milieu? » (Robic, 2008, p. 54).

### 2.3 « Nommer c'est créer un peu » (Raison, 2007)

La géographie tropicale a tenté dans ses débuts de présenter les environnements tropicaux comme si prégnants, qu'ils impliquent des réponses qui n'ont pu être imaginées ailleurs (Claval, 1998). Cependant, dans la volonté d'un détachement avec la géographie coloniale, l'environnement ne se limite pas à sa géographie physique. L'explication des différences constatées par critères bioclimatiques induit en effet un déterminisme des milieux tropicaux, ce que n'a pas souhaité la géographie tropicale. Elle a plutôt voulu se légitimer par un rapport spécifique entre le milieu et les civilisations, déplaçant parfois le déterminisme sur ce dernier. Dans les deux cas, accepter cette branche de la géographie, c'est incontestablement avancer que l'espace compris entre les deux tropiques, lignes imaginaires, bénéficie de caractéristiques climatiques propres qui, par là même, ont un effet fondamental sur la géographie des hommes (Raison, 2007). Les questions autour du déterminisme sont toujours sujettes à la critique et, le

dernier chercheur en date, le botaniste F. Hallé, s'est vu amplement critiqué par la communauté des géographes lorsqu'il a argué que la co-extension entre condition tropicale et géographie de la pauvreté s'explique en partie par un déterminisme climatique<sup>43</sup>, (Le comité de rédaction de l'Espace géographique, 2011). Il nous semble donc qu'aujourd'hui, si nous avons à discuter de l'intérêt de conserver le terme de tropical, nous trouverions qu'il légitime moins un courant qui proposerait des rapports de causalité spécifique, entre environnement tropical et développement des sociétés dans leur acception large, qu'une nomination aisée pour désigner une communauté de chercheurs aux trajectoires de vie et de quotidiens parfois similaires.

« La géographie tropicale n'est plus alors un éclairage donné aux choses ou une démarche spécifique, mais tout simplement la pratique d'un ensemble de géographes que des goûts, des circonstances ou des affinités ont conduit à travailler en Afrique, en Amérique Latine ou en Asie. Ils se connaissent bien entre eux, subissent les mêmes contraintes et partagent un certain nombre de problèmes existentiels. »

(G. Sautter cité par F. Durand-Dastès<sup>44</sup>)

Ce point de vue se rapproche d'ailleurs de la vision anglophone qui considère que la "géographie des tropiques" n'implique ni plus ni moins que l'étude des régions tropicales par des géographes utilisant en général les mêmes approches et méthodes que celles qui sont utilisées dans toute autre partie du monde (Steel, 1964). Mais les points de vue français et anglophone diffèrent dans leurs critiques et dans leur histoire, notamment dans l'approche post coloniale (Bowd & Clayton, 2005). Ces historiographies sont d'ailleurs notamment discutées depuis les années 80 dans une revue qui fait écho de ces débats : *Singapore Journal of Tropical Geography*. Cette revue internationale<sup>45</sup> fait office de forum des travaux actuels du monde tropical. Un changement par rapport aux décennies précédentes est à souligner : de plus en plus de contributeurs sont eux-mêmes issus de ce monde tropical.

### 3 Des géographies déclinées au pluriel, positionnement de la recherche

Le terme géographie est, comme nous l'avons vu précédemment avec "tropical", régulièrement associé à divers qualificatifs. Et voilà que l'interrogation se prolonge. Sans distinction de climats cette fois-ci, la différenciation avec "la géographie-toute-seule" se fait sur la thématique. L'étude d'un fait de santé, le paludisme, nous ancre-t-il dans la communauté de ceux qui se nomment géographes de la santé? Ces mouvements sont-ils le marqueur d'une catégorisation de la discipline en sous-ensembles homogènes, de par leur thématique ou les espaces abordés? Roger Brunet à la plume plus acerbe, précise que « les adjectifs conviennent

---

<sup>43</sup> Il s'avance sur le terrain d'un déterminisme climatique en posant notamment l'hypothèse d'une chronobiologie du tempérament tropical concrétisée par l'impact de la photopériodicité sur l'homme.

<sup>44</sup> <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article414> (article Tropiques de l'encyclopédie en ligne HYPERGEO)

<sup>45</sup> [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1467-9493](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1467-9493)



mal à la géographie.» Il précise que dans « la quantité invraisemblable de "géographies" on en retrouve des vertes et sans doute quelques-unes qui n'étaient pas très mûres. Elles ont leurs vertus, exactement pour ce qu'elles ajoutent à la connaissance, notamment dans l'inventaire des localisations; elles ne sont parfois que simples analyses de distributions, typologies formelles, ou alors elles sont des bribes mal maîtrisées d'autres domaines scientifiques » (Brunet, 1993, p. 237). Cela nous rappelle le danger de considérer la géographie comme "une discipline carrefour"<sup>46</sup>. Nous allons donc voir comment nous pensons approprié et nécessaire, que les géographes étudient la santé mais, sans devoir en faire aujourd'hui une discipline à part entière ou encore une sous-discipline quasi autonome qui développerait des raisonnements géographiques spécifiques. En outre, avant de tenter une synthèse de l'héritage légué par ces géographies au pluriel, nous réfléchirons aux perspectives et intérêts des dépassements disciplinaires. La nature des questions posées, lorsqu'elles sont complexes, semble en effet devoir engendrer des pratiques interdisciplinaires. Le savoir nécessaire à l'éclairage du problème formulé apparaît transverse aux domaines de chaque discipline. Nous verrons alors en dernier point, si accepter la posture de la modélisation des systèmes complexes<sup>47</sup> implique inéluctablement un cadre interdisciplinaire.

### 3.1 Se revendiquer de la géographie théorique et quantitative en étudiant un espace tropical

L'hostilité à "l'esprit de système" est souvent réaffirmée en géographie tropicale. Dans le débat classique d'une géographie idiographique ou nomothétique, elle se place sans ambiguïté dans la première catégorie. Elle se pratique comme une géographie régionale mais elle reste fondamentalement une géographie générale dont les modèles restent implicites. Elle est soucieuse de contingences, de relativisme, elle ne cherche pas de lois géographiques, bien au contraire. « La région est un être à part, exceptionnel. On a ainsi parlé de l'exceptionnalisme en géographie » (Rétaillé, 2003, p. 941). La "nouvelle géographie" en revanche cherche bien l'antithèse de cet exceptionnalisme. Cette expression est consacrée en 1968 par P. Gould mais l'éclosion du mouvement est plus ancienne. Peu à peu, notamment à l'origine aux Etats Unis en Suède et en Angleterre, les courants de pensée évoluent, teintés de néo-positivisme et de volonté de quantification. Et c'est *a contrario* de la vision de l'école classique, que se dessinent ces nouvelles orientations. Deux remises en questions sont intéressantes à mettre en exergue. La première tient justement de la dénonciation de l'exceptionnalisme en géographie -

---

<sup>46</sup> Si parfois la géographie est présentée comme telle, nous nous y opposons fortement. Elle n'a pas plus de légitimité à être située au carrefour de nombreuses disciplines que la plupart des autres sciences. Il nous semble dès lors que la présenter comme telle, ce serait valider les carences théoriques et paradigmatiques de la discipline et discréditer son existence. En ces termes, elle n'est plus qu'un savoir scientifique et non une science dans le sens entendu par M. Foucault (1966), c'est-à-dire un savoir qui serait une combinaison d'éléments et d'outils élaborés par d'autres sciences ou savoirs, cela en vue d'une pratique sociale. Or sans rentrer dans le débat de se demander si « La géographie est[-elle] une science ? » (Nom d'un article d'ailleurs de H. Baulig dans les Annales de Géographie, 1948), elle n'est pour nous ni en aval ni en amont des autres savoirs disciplinaires.

<sup>47</sup> Cette expression est utilisée ici selon la référence à l'ouvrage de Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*.

cet intérêt pour le particulier, le singulier au détriment d'une démarche scientifique rigoureuse qui s'appuierait sur un raisonnement, des hypothèses qu'il faut tester puis vérifier dans l'objectif d'aboutir à des lois. A l'instar du procédé prôné par le positivisme logique du cercle de Vienne, l'objectif de la géographie devenue "science des interactions spatiales", est dès lors bien nomothétique (Schaefer, 1953; Ullman, 1941 et 1980). La démarche hypothético-déductive prime. La seconde transformation substantielle apportée par cette pensée, tient d'une évolution du rapport vertical homme-milieu vers une approche plus horizontale, mettant en avant les interactions spatiales et les effets de distances. Dans les faits, il faut attendre encore quelques décennies pour que ces changements marquent une profonde empreinte dans le raisonnement géographique. Pour résumer, les objectifs de cette analyse spatiale se déclinent généralement dans les trois points suivants (Saint-Julien, 2003) :

1. Appréhender les formes d'organisation spatiale des objets étudiés
2. Caractériser les processus de spatialisation qui sont à l'origine de ces structures, c'est-à-dire comprendre les mécanismes de l'interaction spatiale
3. Cerner les dynamiques des systèmes spatiaux par l'approche spatio-temporelle

En outre, les courants qui émergent à la suite de ce mouvement sont nombreux et parfois divergents, voire antagonistes (on citera par exemple le courant spatialiste, le courant critique ou radical, le courant comportementaliste et, plus récemment encore, de nouveaux courants sont ajoutés à ces derniers<sup>48</sup>). Nous ne les creuserons pas. Il y a lieu ici de ne s'interroger que sur la possibilité de s'orienter sur le courant de l'analyse spatiale alors même que nous avons considéré les héritages de la géographie tropicale. Sans rentrer pour le moment dans les détails des courants sous-jacents, demandons-nous dans quelle mesure cette posture hybride peut être judicieuse et féconde?

### 3.1.1 Dépasser l'hermétisme de la géographie tropicale pour la nouvelle géographie

« Et à qui nous reprocherait le caractère prématuré de notre recherche et le point de vue qualitatif d'une géographie dont l'homme est le moteur, nous rappellerions que même dans les pays industrialisés les modèles mathématiques apportent moins à l'explication des paysages et de l'évolution des aménagements que la connaissance des faits humains, des organisations et des structures mentales...»

(Pélissier, 1966, p. 11)

La référence à l'outil mathématique renvoie ici, par synecdoque, à cette nouvelle géographie qui a introduit cet outil comme langage formel dans les sciences sociales. Cette acceptation est doublement intéressante. Elle souligne un mépris radical pour une vision

---

<sup>48</sup> L'article d'epigeo, site internet sur l'épistémologie de la géographie par A. Belhedi, fait un descriptif de ces courants. <http://epigeo.voila.net/newgeo.htm>.

quantitativiste et modélisatrice et cela quels que soient le pôle et les lieux étudiés. Au nord comme au sud, il n'est pas de perspective salvatrice pour la compréhension du monde via l'analyse spatiale. Ce n'est donc pas tant un rejet de la géographie théorique et quantitative, parce qu'elle ne serait pas adaptée aux pays tropicaux ou du sud, qu'un rejet global des méthodes employées et de ses visées nomothétiques. Au préalable, on aurait en effet pu penser que la difficulté d'expérimentation dans des contextes d'instabilité politiques par exemple, ou encore plus généralement, le manque ou la pauvreté des données dans ces contextes entraînent des contraintes fortes dans la mise en place de certains modèles, et par là même, réduisent le nombre de quantitativistes en deçà du tropique du cancer. R. Pourtier est de ceux-là : « les particularités techniques de la recherche qui contraignent à privilégier le qualitatif à un quantitatif inexistant, insuffisant ou incertain n'ont rien de tropical mais correspondent à l'état général de sous-équipement statistique, proportionné au niveau de développement » (Pourtier, 2008, p. 150). Mais si ces contraintes ne sont pas à négliger, elles ne semblent avoir qu'un effet moindre sur la difficile association du référent tropical et de la GTQ (Géographie Théorique et Quantitative). Cela est confirmé par Bruneau et Courade dans un article de 1984 : « La "géographie tropicale" francophone ne s'est pas laissée séduire par le courant quantitatif et théorique importé des Etats-Unis [...] : effet de blocage du référent tropical, fiabilité contestable des sources statistiques ou refus de l'idéologie de la "modernisation" » (Bruneau & Courade, 1984, p. 74). De leur point de vue, le risque majeur de ce courant désigné néo-positiviste est de ne refléter que l'influence de la théorie économique classique par le recours à des données issues de l'appareil d'Etat, occultant dès lors les dynamiques sociales non contrôlées. Il nous semble pourtant caricatural de conclure par les mots suivants : « Derrière les formalisations mathématiques enfin, n'apparaissent ni les processus explicitant la répartition des réseaux et structures spatiales, ni les rapports de dominations qui s'y expriment » (p. 75). C'est faire l'impasse sur la seconde tendance de la GTQ qui préconise une vision horizontale de l'espace et des lieux. C'est oublier qu'au-delà des besoins de quantifier, la géographie doit évoluer d'une science chorographique à celle des interactions spatiales (Bonney, 2005). Il nous semble réfutable de penser que « Les faits géographiques sont peu nombreux et frappent par leur originalité individuelle plus que par leur soumission à des règles » (Gourou, 1973, p. 338). L'étonnement se doit d'être la phase préliminaire à toute démarche de recherche. S'ensuit un classement nécessaire de ces "originalités". La finalité d'un processus tient dans la recherche de régularités, de règles d'organisation commune, de repérage des boucles de fonctionnement dans les systèmes biologiques, humains, environnementaux. Sans cela, la recherche n'aurait pour but que de décrire des phénomènes survenant de manière absurde.

Au-delà de l'aversion de P. Gourou pour les théories et les modèles, son approche n'est pas tellement exceptionnaliste puisque fortement comparative, combinatoire et déjà fort complexe (Sautter, 1975). Si P. Gourou répugne à systématiser : « Il est bien difficile de s'élever des cas particuliers à des lois générales. Peut-être les cas particuliers ne seraient-ils pas assez nombreux » (Gourou, 1973, p. 104), il y a lieu de distinguer méthodes quantitatives

et visée théorique. L'encart suivant, permet de revenir sur les entrelacs existants et ayant existé entre les tropicalistes et la nouvelle géographie. L'hermétisme est somme toute relatif et les méthodes de l'analyse spatiale n'ont pas fait figures d'exception dans ces contextes socio-spatiaux éventuellement particuliers que sont les espaces tropicaux.

#### **Encadré 6 : Géographie tropicale, nouvelle géographie : une fausse dualité**

Jusque dans les années 1980, nous avons vu que, selon les canons de la logique coutumière, les nouvelles générations de tropicalistes restaient sous le joug de leurs pairs, gardiens d'une géographie classique, principalement monographique. La géographie africaniste notamment resta donc longtemps une citadelle imperméable aux autres géographies (modélisatrices, quantitatives ou de la modernisation), américaine notamment (Courade, 1997). Mais des trajectoires individuelles ainsi que des mouvements collectifs déjouent les éventuelles fractures entre les courants. En effet, dès les années 70 qui marque la diffusion de la nouvelle géographie en France, les courants se sont entremêlés et les tropiques ne sont pas restés en marge d'une volonté de modéliser et de quantifier.

Nous pouvons noter que la première traduction de P. Haggett *L'analyse spatiale en géographie humaine* revient à un géographe de l'ORSTOM, H. Fréchou en 1973. Passeurs de frontières ou facilitateurs, plusieurs tropicalistes se sont intéressés de près aux courants plus modernistes de la géographie, qui pouvait rompre avec leur héritage de géographie classique. G. Sautter est en outre un bon exemple d'un universitaire facilitateur de l'innovation et moderniste du courant tropicaliste. Enfin, qui dit méthode quantitative, dit nécessité de formation. C'est à un collectif "d'Orstomiens" qu'on doit le premier stage de formation mathématique et statistique, qui se déroula à Aix-en-Provence en 1971 (Cauvin, 2008). En outre, si l'on fait une distinction entre les tropiques américain, africain et asiatique, l'on pourrait noter une révolution systémique et modélisatrice qui a d'abord imprégné les indianistes (Bruneau, 2006). Cette révolution est notable chez la plupart des auteurs de la *Géographie universelle* (volumes sur l'Asie du sud-est et le monde Indien) dirigée par R. Brunet, dont notamment François Durand-Dastès. Le milieu tropical, n'est plus le milieu naturel qui n'entretient aucune relation déterministe avec la société, mais une trame spatiale qui interagit au même niveau que d'autres, par des jeux de boucles de rétroactions positives et négatives rendant compte de l'accentuation et de la perpétuation de systèmes géographiques (Durand Dastès, 1995 ; Bruneau, 2006). *In fine*, peut-être, et ce notamment en Afrique, le poids de la géographie du développement a pu, au départ, complexifier le rapport aux outils statistiques. Les teintes politiques de certains chercheurs collaient mal à "la quantitative", marque néo-libérale venue des Etats-Unis. « Il était une époque où calculer un écart-type pouvait supposer que celui qui le calculait était au service de la bourgeoisie et de l'impérialisme américain » (Chamussy, 1997, p. 136).

Ainsi, si la géographie tropicale n'a pas été en marge des méthodes quantitatives et ce,

même chez les premiers penseurs, symboles d'une géographie d'abord classique (P. Gourou puis P. Péliissier et G. Sautter,...), son aversion reste pour la théorie (Chaléard et al., 2010). De plus, dès les années 1980, la télédétection, le développement des SIG, sont autant d'outils techniques mais aussi de méthodes d'analyse qui ont fait évoluer la manière de quantifier sous les tropiques. Alors, quantifier oui, théoriser, non. Et si la théorie se montre parfois sous les tropiques indiens, elle fait encore qualité d'exception sous les tropiques africains. Cependant, petit à petit, la modélisation spatiale est en train de conquérir la juste place qu'elle méritait (Courade, 1997). Aujourd'hui des travaux, par exemple sur la santé, se prêtent particulièrement bien aux méthodes promues par la géographie théorique et quantitative (Laperrière, 2009).

### 3.1.2 Analyse spatiale et épidémiologie dans le cas des maladies vectorielles tropicales

Adopter une vision théorique et quantitative devant un problème de santé publique est formateur. Les phénomènes de santé, aux origines multifactorielles, se prêtent bien à l'exercice. Ils dépendent tant de l'environnement que des comportements- à l'interface du biologique et du social, ils peuvent être le fruit d'enchaînements causaux multiples, d'effets circulaires vicieux, leurs déterminants et facteurs sont souvent interdépendants et les facteurs géographiques généralement nombreux (Krieger, 1994). Dans cette mesure, le courant de l'analyse spatiale est la démarche la plus complémentaire à l'épidémiologie qui cherche à mettre en évidence les facteurs de risque, les processus d'émergence et de diffusion épidémique, notamment par la statistique et la modélisation mathématique. Si l'épidémiologie a d'abord été obnubilée par la dimension temporelle, elle s'ouvre à l'espace, créant d'ailleurs un courant dénommé "épidémiologie spatiale" empreint de volontés communes à l'analyse spatiale (Laperrière, 2009). Cela émane majoritairement de la prise de conscience que c'est la structure de l'espace géographique, la hiérarchie des systèmes de flux faits de relations humaines de toute nature, qui contrôle l'existence et la transmission des agents responsables de la maladie. Cette branche de l'épidémiologie cherche à identifier les formes de diffusion épidémique, celles des structures des distributions morbides et la dépendance spatiale des facteurs de risque. Dès lors, cette démarche d'analyse du risque épidémiologique, au préalable initiée, comme nous l'avons vu dans les sous-parties précédentes par l'écologie des maladies, permet d'intégrer différents courants et champs disciplinaires, réconciliant par exemple épidémiologistes et géographes (Elliott & Wartenberg, 2004).

L'importance donnée dans l'espace tropical à la notion de milieu s'en retrouve ainsi ébranlée. Une des illustrations majeures en est la proposition par H. Picheral d'élargir le concept de complexe pathogène, hérité de Max Sorre, à celui de système pathogène. La maladie ne résulte plus seulement de rapports verticaux homme/milieu mais bien « d'un ensemble de facteurs de natures très différentes et ne dépendant pas uniquement du milieu

naturel et biologique » (Picheral, 1982, p. 8). La chaîne épidémiologique des maladies vectorielles, par exemple n'est plus perçue comme une chaîne de causalité déterministe mais comme un ensemble de facteurs biotiques et abiotiques, qui reliés ensemble dans l'espace-temps, agissent de manière complexe, c'est à dire parfois non linéaires, non hiérarchisés et variables selon l'échelle considérée (Krieger, 1994). L'implication de changement d'échelle pour la compréhension et l'identification des niveaux d'organisation du système spatial pathogène nécessite ainsi les besoins de l'analyse spatiale (Pumain & Saint-Julien, 2004). Au même titre, la logique d'interdépendance des lieux et par là même des facteurs de risque épidémiologique localisés implique également des méthodes telles que la géostatistique ou statistique spatiale (Pumain & Saint-Julien, 2001). Cette analyse spatiale des schémas (ou patrons) de distribution des maladies (considérant soit les patients eux-mêmes, soit les souches du pathogène responsable de la maladie) est devenue une étape incontournable d'identification de l'étiologie des maladies (Mayer, 1983). Aux horizons de cette démarche, nous entrons alors dans les perspectives de la géographie systémique, voire, nous prenons le tournant de la pensée complexe.

### 3.2 Vers une approche systémique

Nous avons souligné précédemment les caractéristiques des phénomènes de santé tels que les maladies vectorielles qui, formant un système pathogène complexe, nécessitent des outils et méthodes d'étude adaptés à leur nature. Nous avons vu par exemple que l'inter-fécondation de l'analyse spatiale et l'épidémiologie permettent la mise en place d'un cadre fertile à la prise en compte de l'étiologie multiple des faits sanitaires. Or cette nature complexe n'est pas uniquement l'apanage des faits de santé, et l'évolution de l'*épistémè* en est l'illustration majeure dans son balancement entre réductionnisme, point de vue holistique et émergence des courants de pensées complexes<sup>49</sup>. C'est tout d'abord l'approche systémique qui nous a poussé à nous situer entre les démarches tantôt réductionnistes, tantôt holistiques. En effet, nous pourrions résumer les implications d'une approche systémique, ici, celle du système pathogène du paludisme, en trois phases :

- la première tient pour acquis la vision nécessairement réductionniste qu'il n'est pas possible de parer : chaque composante ou partie du système doit être analysé isolément. Soit dans notre cas, le moustique, le parasite et l'homme. Il est évident qu'il faut au préalable détailler et comprendre ces parties, elles-mêmes constituées en sous-système avant de pouvoir prétendre appréhender le tout.

- la seconde phase constitue la contextualisation. Le système est perçu dans un environnement et ses parties interagissent avec ce dernier. Dans notre cas, c'est l'analyse de l'environnement urbain et de son patchwork de situations sociales, paysagères, culturelles... dans un espace réduit mais dense, hétérogène et ouvert qui requiert notre attention.

---

<sup>49</sup> Nous choisissons volontairement de mettre cette expression au pluriel. Si nous allons définir dans quelle mesure nous adoptons l'orientation d'une des formes de pensée complexe, il semble important de garder en tête que les penseurs et par là même les pensées sont multiples et leurs idées parfois divergentes.

- Enfin, et c'est là l'objectif majeur de l'approche systémique : il est question de relier. Il faut à présent considérer les effets d'interactions du tout lorsque les composantes, interdépendantes forment l'ensemble complexe à étudier.

L. Von Bertalanffy confirme ce point d'analyse final, plus holistique. « La tendance à analyser les systèmes comme un tout, plutôt que comme des agrégations de parties, est compatible avec la tendance de la science contemporaine à ne plus isoler les phénomènes dans des contextes étroitement confinés, à ne plus décortiquer les interactions avant de les examiner, à regarder des 'tranches de nature' de plus en plus larges » (1973, p. 8). Ce fait nous incite à explorer des méthodologies susceptibles de mieux composer avec la complexité des phénomènes qui nous entourent, sans les isoler de l'environnement dans lequel ils naissent et évoluent.

### 3.2.1 Le tournant de la complexité

L'approche systémique, par opposition au paradigme réductionniste de Descartes, cherche donc à « restituer aux phénomènes toutes leurs solidarités » (Bachelard, 1934, p. 134). En cela, elle jette les bases des théories de la complexité. *Stricto sensu*, le terme complexité vient du latin *complexus*=ce qui est tissé ensemble. Il désigne donc un tissu d'éléments hétérogènes liés entre eux. De cette union ou interaction d'éléments émerge certaines qualités ou propriétés de cet ensemble plus ou moins organisé. La complexité pourrait donc se définir comme une manière de voir les systèmes, présentant comme « indispensable d'étudier, non seulement les parties et les processus d'un système de manière isolée, mais également de résoudre le problème crucial de l'organisation, de l'ordre qui les réunit sous l'influence de leur interaction dynamique » (Von Bertalanffy, 1968, p. 31, traduction Phipps).

Bien qu'il existe aujourd'hui différents courant de pensée de la complexité, chaque théoricien concourt à cette acception classique : « le tout est plus que la somme de ses parties » (Morin, 1990 ; Batty Torrens 2001 ; Manson, 2001 ; Reitsma, 2003 ; Gatrell, 2005 ; Zwirn, 2006). Une notion primordiale à la complexité apparaît alors : celle de l'émergence. Elle désigne un processus par lequel un ensemble d'entités interagissantes à un certain niveau font apparaître au niveau supérieur une propriété nouvelle (soit une structure particulière, une fonctionnalité ou une loi) reconnaissable par un observateur et irréductible à la superposition des contributions individuelles (Holland, 1998 ; Goldstein, 1999 ; Laughlin, 2005 ; Bonnefoy, 2005 ; Dessalles et al., 2007). Dans notre cas, l'état de santé de la collectivité, la réalisation du risque épidémique sont des exemples d'émergence du système formé par le complexe pathogène. Avec les interactions entre l'hôte (réservoir et récepteur), le vecteur et l'agent pathogène, cet état de santé est bien plus que la somme des états de santé des individus. Dans le cas du paludisme par exemple, une accumulation d'hôtes porteurs de *Plasmodium* dans un espace où les piqûres d'anophèles sont nombreuses, augmentent exponentiellement la probabilité d'un hôte humain de recevoir une piqûre infectante. Mais la seule connaissance du

nombre de cas de personnes infectées ne nous renseigne pas sur le nombre de transmissions secondaires possibles. Il résulte un effet fondamental du processus d'émergence : le comportement de l'ensemble du système est imprévisible (Morin, 1990). La réalité n'est somme toute qu'un des scénarios possibles et les résultantes du système sont donc difficiles à prévoir. Ces incertitudes dans la prévision sont accentuées par le caractère non linéaire des relations entre les éléments du système (Wolfram, 1984 ; Holland, 1995 ; Epstein, 1996 ; Le Moigne, 1999 ; Batty & Torrens, 2001 ; Edmonds, 2005 ; Epstein, 2008).

Ainsi la pensée complexe se place comme une voie alternative et féconde à celle du réductionnisme ou du holisme. Dépassant ces clivages, elle recrée un dialogue entre ces conceptions et elle fonde son intérêt dans les aptitudes de l'intelligence humaine à les relier. Appliquons à présent ce paradigme à notre thématique de prédilection. Nous développerons, en outre, les effets de circularité et boucles de rétroaction qui s'avèrent être des caractéristiques de la systémique très intéressantes à mettre en perspective dans le cas des faits de santé et, particulièrement dans ce cas des maladies vectorielles.

### 3.2.2 L'application de la pensée complexe aux questions de santé

Signée par la quasi-totalité des états membres, la constitution de l'OMS de 1946 fait évoluer la définition de la santé à une acception qui se veut universelle : elle est « un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas en une absence de maladie ou d'infirmité. » Suivant cette voie, l'aspect biologique de l'état de santé, souvent promu jusqu'alors, n'est qu'un des éléments qui forme le système d'interrelations entre l'homme et son environnement physique, social, animal... Cette considération de la santé comme phénomène multidimensionnel implique d'analyser la santé par des modèles globaux ouverts sur l'extérieur, résultats de ces divers facteurs organiques, humains et environnementaux (Brown & Moon, 2002). « Un phénomène demeure incompréhensible tant que le champ d'observation n'est pas suffisamment large pour qu'y soit inclus le contexte dans lequel ledit phénomène se produit » (Watzlawick et al., 1972, p. 15).

Dans cette perspective, les approches systémiques reçoivent de plus en plus d'attention de la part des acteurs impliqués en santé publique. En effet, l'étude des phénomènes qui associe processus biologiques et sociaux nécessite très rapidement ce genre d'approches car les méthodes dites plus traditionnelles ne fournissent pas d'explications satisfaisantes ou de solutions aux problèmes de santé persistants, comme c'est le cas, par exemple, des inégalités de santé (Diez Roux, 2011). Mais le tournant de la complexité a mis du temps à séduire. En 2005, A. Gatrell rappelle que les travaux utilisant les théories de la complexité en géographie de la santé ne sont pas encore légion. Concernant la diffusion spatiale des épidémies, deux types de travaux peuvent se distinguer : ceux qui étudient la configuration des réseaux et leurs propriétés dans une perspective de modélisation, et ceux qui s'intéressent aux synergies



d'interactions et aux rôles des acteurs permettant d'expliquer l'apparition (ou la limitation) de catastrophes sanitaires (Gatrell, 2003; Eliot & Daudé, 2006).

Reprenant les caractéristiques des systèmes complexes déjà décrites par P. Cilliers (1998), A. Gatrell fournit pour chacune des propriétés du système, un exemple relatif à la santé (2005). Concernant le paludisme par exemple, la lutte contre la maladie est une bonne illustration de certains attributs du système. Elle n'est efficace durablement en milieu tropical, seulement quand elle est supportée par des programmes dits intégrés (qui ont été présentés dans le premier chapitre) et qui pourraient s'apparenter à une combinaison de boucles de rétroactions négatives sur les éléments du système pathogène. Ces boucles peuvent agir sur l'homme, sur le vecteur et sur le parasite. La stratégie de réduction de l'infection fonctionne alors en s'appuyant sur une combinaison d'action (lutte anti vectorielle par larvicide, aspersions domiciliaires, distribution de Moustiquaires Imprégnées d'Insecticide (MII), mise en place de mesures de gratuité des Combinaisons Thérapeutiques à base d'Artémisinine (CTA) pour les femmes enceintes et les enfants, amélioration du diagnostic parasitologique du paludisme par des Tests de Diagnostic Rapide (TDR),...qui sont autant d'interventions qui peuvent être menées en même temps). Ce terme de boucle de rétroaction désigne donc, ici, le fait de pouvoir agir par les comportements individuels et les pouvoirs publics sur le complexe pathogène, et empêcher sa réalisation en marquant une rupture dans l'interaction d'un ou des composants. En effet, pris individuellement, les éléments du complexe n'ont aucune possibilité de réaliser la transmission palustre. Ce sont leurs interactions qui créent une chaîne épidémiologique. Ce sont ces interactions qui méritent attention dans la lutte contre le paludisme : empêcher les contacts, localiser les espaces où peuvent se chevaucher les territoires de l'homme, de l'agent pathogène et du vecteur. Il s'agit de contraindre le système pour qu'il ne fonctionne pas. En outre, ces boucles de rétroaction peuvent être autant négatives que positives. C'est le cas par exemple du rôle du revenu (plus généralement de la situation socio-économique de l'individu ou du ménage). L'effet de circularité prend d'ailleurs tout son sens : par exemple, l'état de santé affecte le revenu qui lui-même va affecter l'état de santé... La dégradation de la situation sociale est aussi bien la cause que la conséquence de l'état de santé. Qui plus est, cela se joue à plusieurs niveaux. La santé conceptualisée comme une propriété émergente du système, dépend de processus qui opèrent à l'échelle de l'individu, mais aussi des populations voisines (que ce soit à l'échelle de l'îlot, du quartier, de la ville,...).

La production de santé repose ainsi en partie sur des processus sociaux et c'est en cela que les rapports entre les inégalités sociales devant la santé et les caractéristiques de la population (situation socio-économique, appartenance à un groupe, existence de réseaux sociaux, aide sociale disponible,...) sont étroits (Kawachi & Berkman, 2000). La dépendance des individus à autrui est particulièrement forte, même dans les cas des maladies qui n'ont pas de transmission interhumaine directe (Koopman, 2004). Un ménage pauvre résidant dans un quartier riche de Dakar a-t-il la même probabilité d'infection palustre qu'un ménage pauvre

vivant dans un quartier pauvre ? N'est-ce pas alors dans la voie d'une géographie systémique, prenant en considération ces jeux d'échelles, ces interactions spatiales horizontales entre les composantes du système, que nous apporterons des réponses aux questions de recherche sur les disparités de santé ? Depuis plus de 10 ans déjà, cette question de l'adéquation des méthodes utilisées dans l'exploration des phénomènes de santé à l'étude d'un système complexe est fouillée (à titre d'exemple, Krieger, 1999 ; Gatrell, 2003). Et qu'en est-il de l'impact de ce courant de pensée dans la sous-discipline francophone nommée "géographie de la santé" ? Les méthodes utilisées d'habitude permettent-elles d'éclairer la complexité du système ? Commençons avant tout par revenir sur ce qui se trame derrière cette expression "géographie de la santé".

### 3.3 La géographie de la santé, un label pour quelle existence ?

« Que les géographes français la considèrent comme une spécificité de la géographie tropicale (Lacoste, 1993) ou du ressort de la bio-médecine et de l'épidémiologie, ils prétendent encore souvent établir la géographie de villes, de régions ou de pays, sans faire référence à une dimension aussi essentielle de la vie individuelle et collective que la santé » (Salem, 1995, p. 25). Sous-courant jeune de la géographie, cette branche a aujourd'hui su s'imposer comme doublement nécessaire. Il apparaît évident que les SHS (Sciences Humaines et Sociales) se doivent d'étudier, au même titre que les sciences proprement médicales, les enjeux de santé publique, car l'exposition à la maladie par exemple est en partie dépendante de processus sociaux, spatiaux, environnementaux... L'expertise de ces sciences sociales, sur un fait de santé, dispose d'une valeur heuristique tout aussi performante et au moins complémentaire des approches médicales. Dans cet esprit, G. Salem nous rappelle que : « Ce n'est pas le moindre apport de M. Sorre, J. May, P. Gourou, A. Learmonth, N. Mc Glashan, H. Picheral que d'avoir montré, dans des régions géographiques différentes, que des sociétés confrontées à des milieux naturels comparables, géraient leur espace de façon si particulière que l'exposition aux maladies était différente » (Salem, 1995, p. 19). De plus, la santé se place comme une fenêtre d'observation aujourd'hui inévitable pour comprendre la société et « la spatialisation de la société » (Reprenant l'expression de G. Sautter, 1973).

Les conquêtes coloniales ont, dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, favorisé les études sur les pathologies tropicales, initiant une collaboration toujours active cent ans plus tard entre naturalistes, géographes et médecins (Boudin, 1843 ; Besancenot, 1995). Du point de vue des enjeux de santé publique, l'importance de l'expertise du géographe, sachant que la majeure partie de ces enjeux dispose d'une ou plusieurs dimensions géographiques fortes, n'est plus à prouver (Fleuret & Thouez, 2007 ; Gatrell & Elliott, 2014). Pour autant, la considération d'une géographie de la santé comme sous-discipline ou courant autonome est-elle légitime ? Dans un premier temps, la réponse semble affirmative. En effet, pour la reconnaissance d'une communauté scientifique et le resserrage des liens entre des chercheurs et des acteurs de la santé, la nomination du mouvement est importante et facilite cette acceptation du savoir

géographique au service des enjeux sanitaires. Cela s'avère particulièrement vrai, notamment du côté de certains spécialistes de santé publique qui, « arc-boutés sur les méthodes dures de l'épidémiologie, voient l'apport des sciences sociales comme la petite touche d'ambiance permettant de donner un peu de couleur locale et de chair à des documents arides mais exacts, [et qui], en contact étroit avec le milieu des cliniciens, continuent de chercher des solutions biomédicales à des problèmes qui sont d'abord sociaux » (Salem, 1995, p. 26). Depuis l'écriture de cette citation, il apparaît justement que le développement de cette communauté de géographes de la santé a permis de contrecarrer cette vision des choses. Il est acquis dans bien des situations, à présent, que les sciences sociales ont leur rôle à jouer et détiennent des clés de compréhensions de phénomènes biomédicaux (aux regards de nos travaux sur le paludisme, le pont entre des chercheurs de SHS et des épidémiologistes ou parasitologues, par exemple, est souvent concrétisé dans le cas de programmes de recherche pluridisciplinaire ou prend aujourd'hui la forme de rencontre d'intérêts communs, comme ce fut le cas par exemple de la journée thématique "Sciences humaines et sociales et lutte antivectorielle" organisée au CNEV (Centre National d'Expertise sur les Vecteurs), le 25 juin 2013.

### 3.3.1 Géographes, géographes de la santé : quelles différences?

Nonobstant la légitimité d'une science de l'espace dans l'étude des objets de santé, ces enjeux ne nous semblent pas nécessiter d'approches ou de spécificités de méthodes qui soient particulières dans le champ même de la discipline. Si les objets d'étude sont complexes, c'est également le cas pour bon nombre de recherches (il pourrait tout aussi bien exister une géographie des transports, des migrations, etc... qui soient autonomes). Au préalable, l'interrogation d'un mouvement collectif se fait souvent sur la base de "qu'est-ce que nous avons en commun?". Il est aussi intéressant de s'interpeller dans le sens opposé : "qu'est ce qui me différencie des autres, de ceux "hors-mouvement?". Les méthodes du géographe de la santé semblent bien être les mêmes méthodes que celles du géographe "tout court".

Si cette question de la différence a déjà été maintes fois posée par rapport à l'épidémiologiste, au chercheur en santé publique, à l'anthropologue et autres disciplines dont l'objet d'étude est parfois la santé, elle suscite aussi des réactions intéressantes lorsqu'elles interrogent les "autres" géographes, ceux qui ne sont pas spécialement aux prises avec la santé (nous pourrions notamment nous référer à un panel d'articles qui interroge l'approche de la santé par les géographes et "les autres". Pour en citer quelques-uns : Picheral, 1984 ; Rougemont & Brunet-Jailly, 1989 ; Vigneron, 1995 ; Brillet, 1995 ; Dory, 1995 ; Tonnellier & Vigneron, 1999 ; Ménard, 2003 ; Vidal, 2004). Il est remarquable que la bibliographie est conséquente autour des années 1990. Les géographes de la santé écrivent alors leur regret quant à la position de leur courant. « La géographie de la santé est une mal-aimée de la géographie française » (Salem, 1998). Il est surtout critiqué la quasi-absence d'enseignement de géographie de la santé dans les cursus universitaires. Mais 15 ans plus tard, ne pouvons-nous pas être optimistes? D'abord parce que ces géographes ont su créer des cadres

universitaires dans lesquels la santé s'étudie, que l'investissement dans des infrastructures nationales a permis de fédérer et de rendre visible la communauté (nous pouvons revenir à 1978 et la création au sein du C.N.F.G, le Comité National Français de Géographie, d'un groupe de travail de géographie de la santé, sous la responsabilité d'H. Picheral, qui est devenu quatre ans plus tard une commission à part entière encore active aujourd'hui<sup>50</sup>). On peut noter aussi plus récemment l'émergence en 2012 d'un axe "territoires et santé" au sein du C.I.S.T. (le Collège Internationale des Sciences du Territoires<sup>51</sup>). Enfin, dans la branche de la géographie théorique et quantitative, les dernières éditions des colloques (Théoquant et l'E.C.T.Q.G., l'European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography) témoignent de l'intérêt et de l'engouement grandissant des chercheurs pour les questions de santé avec l'organisation récurrente de sessions spéciales "santé". Enfin, d'autres avancées sont notables au sein même des politiques en matière de santé (comme l'inscription au pluriel du concept de territoire dans la loi HPST (Hôpital, patient, santé et territoires), appliquée en 2010 (Amat Roze, 2011, p. 13)).

Ainsi, depuis deux décennies, la géographie de la santé est en plein essor en France, tant dans le champ de la géographie *stricto sensu* que de l'épidémiologie et de la santé publique. Mais il nous faut rappeler que la contribution de la géographie et, plus généralement, des sciences humaines et sociales au champ de la santé publique se partage largement avec d'autres disciplines dont les apports ont été substantiels, et parfois antérieurs à ceux des géographes.

### 3.3.2 SHS et santé : l'apport de l'anthropologie et de la sociologie

Si les apports de la géographie aux problèmes de santé publique ont su petit à petit s'imposer, il semble que la discipline n'ait été ni la seule, ni la plus avancée des sciences humaines et sociales dans ce domaine. L'anthropologie et la sociologie se sont rapidement intéressées à la description des dimensions sociales des états de santé. La sociologie de la santé, par exemple, s'est grandement développée en Europe dans les années 1940 autour des travaux du sociologue américain T. Parsons. Elle s'est intéressée à l'analyse des institutions sanitaires et de leur fonctionnement et a contribué à la connaissance des processus sociaux, à l'œuvre dans la gestion de la maladie. Du côté de l'anthropologie, la maladie, son étiologie, ainsi que les moyens de la soigner deviennent les objets principaux d'études. Ces disciplines ont donc toutes deux le souci d'explorer aussi complètement que possible la façon dont les sociétés gèrent la maladie et dont les individus la vivent (Benoist, 1981). Dans le cas des études tropicales, l'apport anthropologique a porté notamment sur l'idée d'étudier une (autre) culture sans *a priori*, sans la comparer et, encore moins, la mesurer prématurément à d'autres cultures, à privilégier l'approche compréhensive. De nombreux travaux ont été réalisés, pour ce qui est de l'Afrique subsaharienne, au Centre d'Etudes Africaines qui a été créé en 1957 par

---

<sup>50</sup> [http://www.cnfg.fr/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=31&Itemid=298](http://www.cnfg.fr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=31&Itemid=298)

<sup>51</sup> <http://www.gis-cist.fr/index.php/main-sections/axes-de-recherche/territoires-et-sante/>

Georges Balandier. En 1967, il est devenu un laboratoire associé au CNRS sous la présidence de F. Braudel, à l'initiative de G. Balandier et G. Sautter, sur les conseils de P. Monbeig, alors directeur scientifique au CNRS. Il comprend également des géographes (Douzant-Rozenfeld & Grandjean, 1997).

Pourtant, les sciences humaines n'occupent encore, dans l'explication des faits biologiques, qu'une position marginale, celle où l'on invoque justement les " facteurs humains " dans l'épidémiologie des maladies infectieuses, parasitaires ou de celles qui, physiques ou mentales, sont liées aux conditions environnementales (Benoist, 1981). Le défi des décennies 1970-1980 a donc été de défendre et de définir la pertinence de la discipline dans ses apports aux problèmes de santé publique, face à une communauté extérieure, mais aussi dans son propre foyer. Les anthropologues médicaux ont défendu l'intérêt de la discipline à se porter sur une telle thématique (Massé, 2010). C'est également dans ces années-là, que chez les géographes également, il y a les premières émergences de groupes de travail entre médecins et géographes et l'idée de fédérer une communauté, afin de légitimer et engendrer une synergie collective, pour diversifier et renforcer les travaux géographiques sur les questions médicales (Delvert, 1979 ; Besancenot, 1995).

Aujourd'hui, les défis à relever, que ce soit du côté de l'anthropologie, de la sociologie ou de la géographie semblent avoir évolué. L'intérêt des SHS dans l'étude des faits de santé n'est dans la plupart des cas plus à démontrer. Peut-on généraliser aux deux autres disciplines la considération suivante, pensée pour l'anthropologie?

« L'enjeu n'est plus maintenant de défendre la pertinence de la discipline (...) mais d'élaborer des concepts, des modèles théoriques et des stratégies méthodologiques adaptés aux nouvelles problématiques de la santé. Après quatre décennies de construction, sa pertinence est acquise dans la plupart des sociétés occidentales comme voix critique et discipline dédiée à l'analyse des savoirs, des attentes et des besoins des populations en matière de santé » (Massé, 2010, §7). L'auteur continue son interrogation en reliant ce défi de l'anthropologie à un contexte où les autres disciplines se sont, elles aussi, appropriées la santé et ont souhaité se montrer tout aussi légitimes et nécessaires dans l'étude d'un phénomène de santé publique. Il se demande si les concepts forgés dans les années 1970-80 sont toujours adaptés au flou grandissant des frontières interdisciplinaires alors que sociologues, politologues, philosophes, géographes et économistes prétendent chacun à sa façon, tout autant que les anthropologues, privilégier une approche holistique, humaniste et critique de la santé et de la maladie (Massé, 2010).

Revenant à notre discipline mère, nous choisissons de résumer ce nouveau contexte ainsi : la géographie de la santé est un mouvement fédérateur, reposant aujourd'hui sur une communauté forte qui a su créer des balises, tant dans sa propre discipline, légitimant l'intérêt d'étudier la santé comme une fenêtre d'observation pertinente pour comprendre le processus de construction des territoires, que dans les sciences de la santé qui admettent peu ou prou la

nécessité d'étude en géographie et aménagement du territoire sur des problématiques de santé. Reconnaître l'existence ou se prévaloir de cette communauté ne signifie pas en revanche que le raisonnement géographique porté se distingue dans l'aspect fondamental de la recherche et dans les protocoles méthodologiques mis en place. L'épistémologie et les savoirs disciplinaires qui forment l'identité commune des géographes sont analogues. Les nouveaux défis que relèvent les phénomènes de santé publique renvoient aux avancées conceptuelles, méthodologiques et technologiques qui peuvent toucher toutes les facettes de la discipline. Ainsi, les singularités des sous-courants de la discipline se joueront plutôt dans la culture thématique et la construction d'un savoir résonnant en santé publique, qui amèneront certaines fois les démarches de recherche individuelle et collective à préférer des collaborations interdisciplinaires avec des disciplines qui traitent des mêmes objets d'étude. C'est alors que d'autres questions se posent, quant à la formation des savoirs et la mise en place de protocoles de recherche hybride, à visée transdisciplinaire.

### 3.4 Théorie de la complexité, géographie et interdisciplinarité

L'analyse des systèmes complexes, par l'étude de ses composants et de leurs relations de différentes natures, fait appel à divers savoirs dont les racines ne se trouvent pas toujours dans la ou les disciplines de formation du chercheur. Modéliser un système complexe serait même un acte par essence collaboratif (Banos, 2013). Confronté à un tel système, il devrait donc être de bon augure de mettre en place des stratégies interdisciplinaires. Pour certains auteurs, cette interdisciplinarité est d'ailleurs une caractéristique majeure des théories de la complexité (voir par exemple Waldrop, 1992). D'autres préfèrent qualifier la vision complexe de transdisciplinaire (Albrecht et al., 1998 ; Gatrell, 2003). On retrouve l'acronyme MIT : Multi-Inter- Trans-disciplinarité. Ces déclinaisons de vocabulaire marquent les différentes manières de *praxis* de ce brassage de disciplines et qualifient différents styles de construction d'une réflexion commune sur un même objet.

La complexité permettrait une vision plus synthétique de la réalité perçue et atténuerait les divisions : elle se place comme un moyen de dissoudre une partie des antonymies classiques (quantitatifs / qualitatifs, environnementaux / sociaux, structure / agence,...) au sein de l'académie (Urry, 2003). Cet auteur suggère même que la complexité peut aider à briser les divisions entre le social et les sciences naturelles. Elle est une intelligence de l'agencement et cherche à tresser les vérités les unes aux autres plutôt qu'à opposer les points de vue de chaque recherche disciplinaire, leurs résultats ou leurs modèles. Cependant cette volonté de ne plus découper la réalité de manière analytique ne signifie pas que complexité devienne synonyme de complétude. Comme nous le rappelle E. Morin dans son *Introduction à la pensée complexe* (1990, p. 11) : « La pensée complexe est animée par une tension permanente entre l'aspiration à un savoir non parcellaire, non cloisonné, non réducteur et la reconnaissance de l'inachèvement et de l'incomplétude de toute connaissance. » La réalité pour

être étudiée doit être simplifiée et il faut se concentrer sur quelques composantes du système et leurs interactions, dans la mesure où on pense qu'elles sont particulièrement significatives (Pollack, 2003). C'est en cela que la pensée complexe n'est pas synonyme d'approche holistique. Elle est une manière de voir, de regarder les objets et de les décrire comme des systèmes dynamiques en les modélisant, c'est-à-dire en reconstituant avec simplification les processus dont ils sont le fruit dans le monde sensible. Ces processus peuvent faire appel à d'autres théories pour être expliqués et non seulement décrits (par exemple, voir Curtis & Riva, 2010, où sont soulignées les diverses théories utilisées par les géographes de la santé afin d'expliquer les caractéristiques multiples et dynamiques des systèmes de santé : la théorie de la structuration, les théories de la consommation et de l'*habitus*, les relations de pouvoir, la différenciation sociale et la stigmatisation, les théories épidémiologiques des facteurs de risques environnementaux et des processus physiologiques,...). L'intérêt est d'utiliser ces théories explicatives en combinaison plutôt qu'en les considérant comme des paradigmes concurrents (Curtis & Riva, 2010). C'est justement ce pouvoir de relier qui est séduisant. Par exemple, les approches traditionnelles des géographes de la santé travaillant sur les maladies vectorielles, se focalisent souvent sur l'élaboration de cartes de risques, ou d'indicateurs de risques, soit à partir de la connaissance biotopique des vecteurs de maladie, soit celle géo-sociologique des populations. Mais elle ne relie que rarement les deux alors que cela permettrait de tenir compte, non seulement de la spatialisation des indicateurs de risque, mais aussi de leur action combinée. De plus, l'identification des traditionnels espaces à risques serait meilleure et l'action sanitaire, dans une démarche de recherche-action, pourrait se concentrer sur des zones géographiques plus précises. C'est la démarche que nous avons souhaitée mener dans nos travaux. Pour ce faire, nous avons notamment mis en place des collaborations avec des chercheurs climatologues et entomologistes pour l'étude de la composante "vecteur" du système pathogène. La mise en place de stratégies interdisciplinaires pour l'étude des maladies vectorielles pourrait bien apparaître dès lors comme une nécessité (Bley, 2010).

#### 3.4.1 Pratiquer l'interdisciplinarité, une exigence du monde à l'égard des hommes ?

La principale motivation à l'égard de l'interdisciplinarité semble provenir de la nature même des questions posées à la science par la société. Celles-ci sont le plus souvent complexes, globales et transverses aux domaines disciplinaires. Dès lors, à moins que les recherches menées ne soient focalisées sur un objet qui ne répond pas aux qualificatifs précédents (ce serait le cas des recherches hyperspécialisées dans un domaine), l'interdisciplinarité semble une nécessité (Vernazza-Licht, Gruénais & Bley, 2010). Mais ce terme, si couramment employé aujourd'hui, recouvre des réalités bien disparates. Il n'y a pas une mais des manières de pratiquer l'interdisciplinarité et elle dépend tant du sujet étudié que du cadre de recherche et des trajectoires individuelles propres (Gruénais, 1995). Les programmes pluridisciplinaires sont-ils un bon moyen de la pratiquer? De manière générale, il

semble qu'ils soient utiles et leurs résultats porteurs, lorsqu'ils ne sont pas juste la somme des contributions de chacune des disciplines, mais plus. Il faut qu'il y ait émergence d'une réalité collective interdisciplinaire (Borderon et al., 2015). En d'autres termes, le processus de recherche est en lui-même un système complexe qui cherche à observer d'autres systèmes complexes. En cela, l'interdisciplinarité est aussi un processus social et humain où l'environnement, les capacités relationnelles des individus, la solidité d'une stratégie scientifique et la qualité de l'animation d'un collectif sont des facteurs essentiels. S'interroger à plusieurs sur un objet complexe est donc le meilleur moyen de se poser les bonnes questions grâce à une orientation intelligente<sup>52</sup> du problème à résoudre. Mais prendre des chemins "indisciplinés" peut être long et dangereux à la vue des différentes embûches qu'il faut surmonter.

« Les origines des principales difficultés sont assez faciles à identifier : orthogonalité par rapport aux cultures disciplinaires menant à des incompréhensions et des confusions, réflexes dogmatiques, mais aussi rapports de pouvoir dans l'*establishment* scientifique et la compétition dans le partage des ressources. Par ailleurs, les résultats concrets des recherches en termes de publications, de brevets ne sont pas toujours évidents à court terme, car il faut du temps avant d'avoir des résultats publiables dans de "bonnes revues" et ces dernières sont encore peu habituées au style de publications auxquelles mène l'interdisciplinarité ».

(Pavé, 2011, p. 7).

A cela s'ajoute les interrogations introspectives par là même inhérentes aux individus (notamment les jeunes chercheurs) qui osent s'ouvrir à l'interdisciplinarité en pressentant que leur phénomène d'étude "infiniment complexe" ne peut être qu'éclairé par une association de forces communes et complémentaires. C'est d'ailleurs dans ce cadre que se posent plus profondément les questions d'identité. Qui suis-je moi en tant que représentant d'une discipline (voire d'une école au sein même de cette discipline) ? Que peux apporter le géographe sur l'étude du paludisme urbain à Dakar ? Ces interrogations, bénéfiques bien que déstabilisantes, poussent l'individu à se positionner, à trouver les limites et les atouts de ses analyses et dirigent ses travaux toujours "relatifs à" (relatifs aux travaux antérieurs, actuels, de son champ disciplinaire ou non, sur les thématiques voisines, sur des méthodologies similaires...).

Le tropicalisme nous a rappelé la méfiance de l'exotisme sans occulter la rencontre du chercheur avec l'altérité, les rapports spécifiques du terrain, les contextes culturels, politiques, linguistiques qui requièrent prudence et attention. A l'aune de la décolonisation, cette même tropicalité s'est retrouvée aux prises avec le tourbillon de l'histoire : marxiste, libéralisme, primauté des grandes théories du développement; le monde s'est fracturé en deux puis

---

<sup>52</sup> Il faut entendre ici le qualificatif "intelligent" selon l'acception qu'E. Morin donne à ce terme dans son œuvre. En résumé, l'intelligence correspond aux aptitudes à relier les connaissances que nous avons acquises.



plusieurs blocs. La géographie du sous-développement est née quelque part entre un discours du président Truman et la plume d'Y. Lacoste. Les situations économiques et sanitaires de ces "pays les moins avancés" sont complexes, très disparates, tant à l'échelle infranationale que locale. Face à la complexité des situations africaines, aucune réflexion simple, aucun modèle unique ne conviennent : la "crise de la pensée" médicale affecte aussi bien l'Afrique que l'Europe (Grunéais, & Pourtier, 2000). Dès lors la santé devient révélatrice d'une situation socio-économique critique et profondément inégalitaire quelle que soit l'échelle spatiale considérée. Le cercle est vicieux : l'état de santé des populations est autant la cause que la conséquence d'un enlisement dans ce sous-développement, et l'étude des maladies devient une fenêtre d'étude inévitable pour qui veut comprendre le fonctionnement des sociétés. S'inscrivant dans le courant plus ancien de l'écologie des maladies, et faisant face à la virulence épidémiogène du milieu tropical dans sa capacité à contenir des complexes pathogènes déjà endigués, voire éradiqués au nord, la démarche étiologique sur le paludisme déborde ainsi le cadre d'une étude d'écologie humaine pour se constituer en géographie sociale. En outre, adoptant l'acception que la réalité est par essence complexe, elle ne devient compréhensible qu'à l'horizon d'une approche systémique où tout serait lié sous la forme de système ouvert régi par des lois données et qu'il convient alors de connaître, découvrir et analyser. Dans cette mesure, l'interdisciplinarité semble naître de cette réaction holistique à la compartimentation des sciences. Il semble qu'il faille une ouverture pluridisciplinaire pour capter les connaissances suffisantes à la formalisation dans l'esprit du système étudié, ainsi qu'une culture généraliste honnête pour établir des démarches méthodologiques pertinentes, empreintes de ces objections aux réductionnismes. C'est finalement dans cet objectif qu'on a cherché à s'approprier de nouveaux outils de pensée interdisciplinaire, pour relier des connaissances parcellaires et ainsi faire émerger de nouveaux savoirs (les connaissances reliées).



***Des anophèles et des hommes : quand les interrogations sont sociales...***

*S'il est confirmé que le paludisme urbain fait partie des paludismes d'aujourd'hui et sans doute de ceux de demain, il reste encore à apprendre sur l'étude de son épidémiologie. Les conséquences du processus d'urbanisation sont en effet nombreuses, difficiles à prévoir et paradoxales.*

*Ainsi, bien que la transmission soit plus faible en ville et le risque d'exposition localisé, les possibilités d'épidémies sont à craindre tout comme la multiplication de formes cliniques graves. La complexité du système pathogène et celle de l'environnement urbain dans lequel il évolue semblent promettre deux scénarii typiques possibles. D'un côté, le développement et la continuité des efforts de la lutte intégrée contre la pathologie vont aboutir à terme à une destruction des foyers de transmission. Cette transmission est en effet plus fragile en milieu urbain, à cause de l'hyperlocalisation des populations anophéliennes et leur relative densité ainsi qu'à cause du nombre restreint et concentré dans le temps d'hôtes réservoirs de gamétocytes infectants. À moins qu'à l'inverse, la complexité du système pathogène du paludisme urbain rende la situation épidémiologique difficilement maîtrisable et provoque une adaptation des comportements anophéliens et une variété des comportements humains propices à l'émergence de résistances aux traitements et des luttes. Ces perspectives schématiques bornent évidemment un panel de situations intermédiaires.*

*Ainsi, de l'impact des densités, des morphologies urbaines ou de la mobilité des populations sur le risque épidémiologique, la légitimité et l'intérêt d'étudier le paludisme urbain ne sont plus à démontrer. Il va cependant falloir faire preuve d'habileté dans l'application d'un protocole méthodologique qui dépasserait les considérations aporétiques que pose l'analyse de ce risque en milieu urbain africain. Actuellement, cette dynamique épidémique est difficilement lisible, résultat d'une absence de données précises sur les charges morbides et létales des populations citadines attribuables au paludisme. Les programmes de suivi de la maladie, comme le PNLP, ont leurs failles et malgré les connaissances accumulées tant des rapports de ce type d'organisme que des recherches précédentes, les zones d'ombres sont encore nombreuses et les données de qualité, rares. Nous avons cependant tenté d'envisager sous un angle social l'étude de cette maladie ancienne déjà appropriée par nombre de disciplines scientifiques et pensée en termes médicaux et populaires. Convoquant tant l'héritage de la géographie tropicale dans lequel l'écologie des maladies trouve ses racines, que le point de vue des penseurs de la complexité, nous avons souhaité s'inspirer de ces courants pour élaborer un protocole d'étude qui permettrait de comprendre si le paludisme urbain est bien une maladie de la pauvreté. Les collaborations interdisciplinaires seront notamment primordiales dans ce contexte. Enfin, l'étape préliminaire à nos analyses consiste en une connaissance détaillée du contexte urbain. La première partie du protocole méthodologique réside donc dans une exploration des paysages urbains. Pour ce faire, nous avons choisi de faire usage des analyses issues de la télédétection et du traitement de données d'enquêtes telles que le recensement.*



## PARTIE II

# QUALIFIER LES ESPACES URBAINS DE L'AGGLOMÉRATION DAKAROISE : IDENTIFIER LES SOUS-ESPACES DE LA VILLE POUR ÉCLAIRER LES CONTEXTES À RISQUE PALUSTRE

## - DONNEES ET METHODES APPROPRIEES AU CONTEXTE URBAIN SENEGALAIS -

*Cette seconde partie vise à la constitution d'un socle de connaissances sur les espaces du "proche". Reprenant les analyses classiques utilisées en géographie urbaine, notamment via les possibilités proposées par la télédétection et les SIG (Systèmes d'Information Géographique), nous avons constitué une base de données permettant de différencier les multiples sous-espaces urbains de l'agglomération dakaroise. L'idée est de morceler cette entité territoriale formée d'un ensemble hétérogène en unités plus homogènes dans l'objectif de mettre en lumière les lieux aux paysages physiques et sociaux favorables (ou non) à l'épidémie palustre.*

*"Les villes portent les stigmates des passages du temps,  
occasionnellement les promesses d'époques futures"*

*Marguerite Yourcenar*



*CHAPITRE 4. Approches classiques d'analyse du contexte urbain -  
Le cas de l'agglomération Dakaroise*

---

Dès la fin des années soixante, de nouveaux outils ont considérablement transformé et amélioré la possibilité d'acquisition de données géolocalisées, leur analyse et leur mise en relation. Il faut tout de même attendre les années quatre-vingts pour que leur utilisation commence à apparaître. L'essor démocratique date des années quatre-vingt-dix, avec le développement des capacités de la micro-informatique. Les systèmes d'informations géographiques (SIG), la télédétection font partie de ces procédés techniques. La vulgarisation de ces outils marque alors un tournant dans les méthodes employées jusqu'alors, particulièrement dans le domaine de la géographie mais aussi de ses disciplines connexes. Les SIG sont des systèmes d'information qui permettent notamment l'organisation, la présentation ou encore la création de données géoréférencées. La production de plans et de cartes ou encore le traitement, le partage et la diffusion de l'information géographique sont dès lors facilités.

La télédétection recouvre l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour acquérir des informations sur l'environnement. Les mesures sont effectuées à distance, sans contact matériel avec celui-ci. La télédétection moderne vient de la photographie aérienne (Cracknell & Hayes, 1991 ; Lambin, 2001). Elle a, par la suite, intégré les développements plus récents de la recherche spatiale, avec l'acquisition d'images satellitaires (Bonn & Rochon, 1992). Dans l'objectif de saisir les paysages urbains des villes de Dakar, Pikine, Guédiawaye et Rufisque, nous avons fait appel à ces procédés techniques classiques, dont l'utilisation est aujourd'hui particulièrement courante, entre autres en géographie. Faisant au préalable un état des lieux des sources de données disponibles sur la zone d'étude, nous allons utiliser la télédétection pour extraire de l'information sur l'occupation du sol. Afin de compléter nos connaissances sur les paysages, cette fois-ci dans leurs aspects plus sociaux, nous croiserons ces données avec celles du recensement de 2002, données mises à disposition par l'ANSD (l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie). Nous cherchons donc à obtenir plusieurs représentations de l'agglomération de Dakar, en prévoyant de les utiliser pour reconnaître les différents types de profils épidémiologiques des sous-espaces urbains dakarois. Voyons les avantages que présentent ces méthodes - notamment celles issues de la télédétection, qui permettent une récolte d'informations intéressantes et exploitables, compte tenu d'un cadre pauvre en données. En effet, la complexité du phénomène d'étude nécessite de disposer de données fines, localisées et couvrant un cadre spatio-temporel intéressant. Pourtant, la réalité est souvent tout autre et les matériaux disponibles sont disparates, imparfaits et peu nombreux. Si ce contexte n'a rien d'original, cela nous oblige à un ajustement permanent entre les dispositions théoriques et conceptuelles que nous avons soulignées au préalable dans notre première partie, et les possibilités de méthodes applicables,

sujettes aux limites mais recouvrant sans trop de déformation, une réalité que nous souhaitons étudier.

## **1 Mieux connaître le local : analyse à échelle fine des contextes socio-spatiaux**

Une des caractéristiques dominantes des pays les moins développés est la difficulté à disposer de données statistiques de bonne qualité sur la population, et plus encore si l'on souhaite que cette information soit spatialisée. Néanmoins, il existe çà et là des sources qui peuvent être exploitées et ouvrent de nouveaux horizons à la recherche. Le Sénégal n'échappe pas à cette règle et travailler sur l'agglomération dakaroise nécessite donc quelques efforts méthodologiques si l'on veut s'extraire de l'étude fragmentée de quelques quartiers. Les recensements sont, dans ce cadre, des ressources souvent utiles. L'expérience montre qu'un investissement dans leur exploration, leur mise en espace (via l'intégration dans des systèmes d'information géographique) et leur analyse peuvent enrichir la compréhension et la description de divers phénomènes (Guilmoto et al., 2002 ; Gutmann et al., 2011). En outre, les données issues de l'imagerie satellite sont de plus en plus aisément disponibles à des résolutions spectrales, spatiales et temporelles pouvant satisfaire les besoins d'études dans de nombreux domaines. Une exploitation pertinente de leur spécificité requiert néanmoins une technicité particulière. De plus, les images satellites ne produisent pas directement de données socio-économiques, même si l'on peut faire un certain nombre d'extrapolations à partir de leur analyse (Dureau et al., 1989). Voyons donc comment, par le croisement de ces deux sources de données, nous avons pu qualifier l'espace urbain dakarois et accroître les connaissances que nous avons de cette agglomération.

### **1.1 Du recensement à l'imagerie satellite : caractériser l'espace urbain**

Dans l'objectif de déceler les différents sous-espaces urbains de la ville et d'estimer leur profil épidémiologique, nous allons chercher à caractériser la morphologie urbaine de l'agglomération ainsi que les attributs socio-économiques des populations. Largement portées par la littérature existante, les hypothèses sous-jacentes à cette exploration sont les suivantes :

- La morphologie urbaine module le risque épidémique palustre par certaines de ses qualités. L'occupation du sol, notamment, va déterminer les logiques de répartition anophélienne ainsi que la présence humaine et ses caractéristiques afférentes, telles que les comportements de mobilité des individus.

- Les caractéristiques socio-économiques des ménages et de leur habitat impliquent des capacités différentes de prise en charge de l'exposition au paludisme-infection. Le degré du risque d'exposition au paludisme varie donc en fonction de celles-ci.

Pour ce qui est de l'observation des caractéristiques socio-économiques des ménages et de leur habitat, nous avons fait appel aux données du dernier recensement disponible, celui de 2002. Dans le cas de l'occupation du sol et de l'analyse de la morphologie urbaine, nous avons



examiné les potentialités de l'imagerie satellite à notre disposition. En effet, l'image satellite peut être un élément à part entière de nos modes d'appréhension de la complexité urbaine, notamment parce qu'elle localise des formes urbaines, en facilite l'identification et permet de représenter une réalité dynamique (Dureau & Weber, 2001). En outre, nous pouvons nous demander la place que peut avoir l'image satellite dans le processus de production d'informations démographiques. Les relations entre images et caractéristiques socio-économiques ayant été étudiées dès l'essor de la télédétection, les liens entre les analyses issues des données censitaires et celles de l'imagerie ont déjà été explorés (Jensen & Cowen, 1999). En effet, l'existence de relations entre les formes d'occupation de l'espace et les caractéristiques des habitants ouvre à la télédétection spatiale le champ des applications ayant trait au domaine du "social" : l'information apportée par le satellite peut servir de vecteur d'observation dans un processus de production d'informations sur les populations citadines (Dureau & Weber, 2001). Enfin, l'observation d'une grande ville du sud impose certaines exigences que nous avons parfois écartées, en toute conscience de ce que cela pouvait signifier par rapport à notre objectif final : celui d'exploration de l'environnement urbain dans son lien avec le risque de paludisme-infection. Par exemple, les questions de sélections des unités d'agrégation des données et l'absence de séries de données temporelles nous ont amené à faire des choix que nous allons expliciter.

#### 1.1.1 Présentation des données mobilisées

Dans le cas de la qualification des espaces urbains de l'agglomération dakaroise, nous avons utilisé trois images satellites mises à notre disposition et les données du recensement de 2002, spatialisées dans un SIG (voir le tableau 3). On peut déjà noter qu'elles ne présentent pas toujours d'adéquation spatio-temporelle, ce qui augmente la difficulté d'associer les différents jeux de données. Les données censitaires sont en effet plus anciennes que celles que nous allons extraire de l'imagerie satellite. Si la structure socio-démographique des populations au sein de l'agglomération ne varie pas dans un laps de temps court, certains quartiers, notamment ceux en voie d'urbanisation (dans les marges orientales de l'agglomération par exemple) peuvent subir d'importantes transformations en quelques années. Lors du croisement des données du recensement et de celles de l'image de 2007 que nous avons utilisées pour explorer la morphologie urbaine de la ville, les documents mis à disposition par le Centre de Suivi Ecologique (CSE) du Sénégal ont également servis pour localiser ces zones. L'évolution des zones urbaines est présentée entre 1988 et 2009 avec la description des phases d'expansion successives. Nous pouvons donc reconnaître les limites du croisement entre nos deux sources de données. Des espaces non recensés en 2002 et qualifiés de "non habités ou en voie d'urbanisation", sont peuplés cinq ans après, ce que confirme par ailleurs nos visites sur le terrain.

**Tableau 3 : Listes des données utilisées**

Type	Couverture spatiale	Date	Sources
<b>Images satellites de résolution spatiale 2.5 m</b>	Region de Dakar	2007 - 2008 – 2010	SPOT 5
<b>Variables socio-économiques et démographiques des ménages</b>	2000 District de Recensement	2002	RGPH - ANSD
<b>Occupation du sol, cartes thématiques</b>	Région de Dakar	1988 – 2009	CSE

Les images satellites de 2008 et 2010 seront détaillées dans la seconde partie de ce chapitre. Elles ne nous ont pas servi dans cette première partie d'analyses. Nous avons utilisé ici, deux scènes SPOT-View issues du satellite SPOT-5, acquises le 26 septembre 2007, en niveau de prétraitement 3 (ou orthoimages). Nous avons en effet souhaité, en concordance avec les pics saisonniers des cas de paludisme, utiliser une image prise pendant l'hivernage. La projection cartographique est UTM zone 28, WGS 84. La première image est composée de 4 bandes spectrales à 10 mètres de résolution spatiale, dans les longueurs d'onde "vert, rouge, proche infrarouge et moyen infrarouge" et la seconde de 3 bandes à 2,5 mètres de résolution spatiale ("vert, rouge, proche infrarouge"). La précision de localisation de ce type d'images est de l'ordre de 10 mètres. Ces images couvrent une large partie de la presque-île du Cap Vert. La bande moyen-infrarouge à 10 mètres a été ré-échantillonnée à 2,5 mètres puis a été ajoutée à l'image à 2,5 mètres pour créer une image à 4 bandes de 2,5 mètres de résolution spatiale. Un masque couvrant la mer, les nuages et leur ombre, a été digitalisé afin que ces zones soient exclues des traitements. La superficie d'étude hors de ce masque est de 178 km<sup>2</sup>. L'image que nous utilisons a été sélectionnée notamment pour sa faible couverture nuageuse. Néanmoins, la commune de Rufisque, à l'extrême est de la zone d'étude, et une partie du front d'urbanisation, plus au nord, sont partiellement masqués.

Concernant le recensement, il est disponible au format numérique et distribué par l'agence nationale de la statistique et de la démographie (ANSD) pour ses éditions de 2002 (publié à partir de 2006) et de 1988 (édition qui est restée très peu exploitée). Son intégration dans un système d'information géographique a été effectuée en 2008 par A.N'Donky (2011) dans le cadre du programme de recherche ACTUPALU mené par l'IRD<sup>53</sup>. De premières

<sup>53</sup> Programme ACTUPALU, financé par l'ANR (ANR-07-SEST-001).

exploitations ont permis de relever la qualité des données produites et leurs usages dans le cadre d'une analyse socio-spatiale de l'agglomération (Oliveau et al., 2009). Les données sont disponibles à l'échelle des Districts de Recensement (DR), de petites unités considérées comme homogènes (moyennant 1000 personnes environ et 200 ménages par unité). Les thématiques qu'il recouvre sont vastes : qualité du logement, ressources, équipements, statut social et marital du chef de ménage, âge, sex-ratio, niveau d'instruction, obédience religieuse, appartenance ethnique,... Ces données spatialisées, disponibles à l'échelle des DR, peuvent être complétées par des informations extraites de l'imagerie satellite. Au total, ce sont 1891 DR, soit 95% des DR de l'agglomération, qui peuvent être renseignés par ces deux types d'informations : celles extraites de l'imagerie satellite et celles des données censitaires.

#### 1.1.2 Les districts censitaires, une maille nouvelle dans l'étude géographique de Dakar

L'agrégation des informations individuelles dans les différentes unités spatiales permet de réduire la variabilité des phénomènes, en moyennant les valeurs sur une population et un espace plus larges. L'approche géographique - qu'elle concerne un fait de santé ou bien tout autre phénomène - nécessite d'adopter une unité spatiale à partir de laquelle il est possible d'agréger les informations individuelles et d'étudier la répartition spatiale du phénomène (Vallée, 2008). Pourtant, cette nécessaire opération d'agrégation s'avère délicate car elle n'est pas neutre : tout changement d'unité spatiale conduit à une modification des résultats aussi bien visuels que statistiques. Cette influence du découpage spatial correspond à ce qu'on appelle dans la littérature le "Modifiable Areal Unit Problem" (MAUP) (Openshaw, 1984). Deux mécanismes principaux résultent de ce phénomène décrit d'abord comme un problème :

- le premier, nommé "scale effect", concerne le choix de l'échelle à adopter, autrement dit la taille des découpages. Il interroge l'observateur sur le choix de lecture du phénomène étudié. A quelle(s) échelle(s), devient-il intéressant d'observer le risque palustre? Sur ce point-là, nous avons déjà pu argumenter dans le second chapitre, sur la légitimité de l'échelle fine.

- le second, "zoning effect", concerne la forme des découpages : à une échelle donnée, les frontières considérées peuvent grouper les individus d'une multitude de façons différentes. Si nous choisissons de travailler à l'échelle fine, utiliser le découpage censitaire a-t-il un sens? Ces unités regroupent-elles des réalités suffisamment homogènes pour légitimer le fait de les agréger "ensemble"?

La pertinence des découpages administratifs justement ne cesse d'être remise en cause par les géographes. Définies *a priori*, les unités spatiales constituent des agrégats d'objets élémentaires qui ne forment pas toujours des entités ayant une signification géographique cohérente (Pumain & Saint-Julien, 2004). Bien qu'ils résultent d'un découpage de ce type, les DR présentent un certain nombre d'avantages dans leur utilisation. Tout d'abord, les données sont disponibles à cette échelle, qui correspond au maillage administratif le plus fin de l'aire

d'étude. L'échelle des districts de recensement est *grosso modo* équivalente aux "Ilots Regroupés pour l'Information Statistique" (IRIS) français, mais les unités sont environ deux fois moins peuplées (1000 habitants en moyenne au Sénégal soit environ 141 ménages et 86 concessions pour une superficie moyenne d'environ 90 000m<sup>2</sup><sup>54</sup>). A l'exception de quelques zones inhabitées ou classées à part<sup>55</sup>, cette source statistique offre une couverture complète de l'agglomération dakaroise. L'ensemble des DR a été géoréférencé par A.Ndonky pour intégrer une base de données SIG. La petite taille de l'unité et les logiques contingentes au choix d'un découpage qui concorde avec la morphologie principale de la ville, lui confèrent une certaine homogénéité tant dans les caractéristiques socio-économiques des ménages regroupés, que du côté des paysages urbains. En outre, dans le cas du paludisme, cette échelle d'étude a du sens. Souvent plus petite que le quartier (qui recouvre parfois un seul DR mais souvent deux, trois, quatre ou plus), cette pathologie est justement présentée comme liée au cadre de vie du quartier (Roudier & Daval, 2006). Par exemple, la densité d'habitat et de population est en soi un facteur de moindre exposition au paludisme, par dilution des piqûres d'anophèles. L'espace du vecteur peut également avoir un sens à cette échelle.

À partir de ces données, nous allons proposer une cartographie inédite de la richesse et de la pauvreté dans l'agglomération reposant sur une sélection réalisée parmi les 130 variables disponibles.

### 1.1.3 Déterminer les caractéristiques socio-économiques des espaces

Depuis les années 1980 et les travaux d'Amartya Sen sur la pauvreté, celle-ci n'est plus considérée sous l'angle unique et réducteur des revenus, mais envisagée comme un phénomène à multiples facettes et relatif à un contexte spécifique (voir Sen, 1983). Les revenus formels déclarés sont insuffisants pour évaluer la situation économique, et cela plus encore dans les sociétés en développement. On constate donc dans la littérature un recours de plus en plus fréquent aux approches non monétaires, parmi lesquelles la mesure de la pauvreté passe par l'étude des conditions de vie des habitants (dans le contexte sénégalais, voir Minvielle et al., 2005). De même, la pauvreté est généralement envisagée au niveau de l'individu ou du ménage, mais se prête aussi à une approche plus agrégée comme le montrent les travaux explorant la dimension spatiale de la pauvreté ou « poverty mapping », pour

---

<sup>54</sup> Ce calcul moyen de la superficie du DR, déterminé par SIG, est particulièrement intéressant dans notre thématique d'étude. Bien que les surfaces puissent être de taille assez variable (les districts industriels au sud par exemple, sont plus grands que ceux de Pikine puisque la densité d'habitant y est plus faible tandis qu'on agrège toujours en moyenne 1000 habitants) en terme de superficie, cela équivaut environ à 300m\*300m. Cela revient donc à un peu moins de la distance moyenne du moustique, dont le seuil de déplacement maximum est estimé à 400m. En ce sens, les districts censitaires sont certes des maillages administratifs, mais leur utilisation n'est pas dénuée de sens par rapport à l'environnement du vecteur.

<sup>55</sup> On notera qu'il existe un certain nombre de zones présentées comme non couvertes (les aires grisées sur la carte de situation, figure 14)). En effet, une trentaine de districts sont non habités (recoupant des espaces variés comme celui de l'aéroport, les forêts, les parcs, les dunes littorales ou encore les Niayes<sup>55</sup>) ou ont un statut particulier (les camps militaires et les zones industrielles).

reprendre l'expression de la banque mondiale, popularisés par les recherches de M. Ravallion (Datt & Ravallion, 1993 ; Ravallion & Wodon, 1997) et U. Deichmann (Deichmann, 1999 ; Lall & Deichmann, 2009). Celles-ci s'orientent vers des approches méthodologiques qui utilisent des variables indicatrices (proxy) des niveaux de vie et de bien-être pour évaluer le développement économique. L'exemple le plus célèbre est sans doute la mise en place par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) de l'Indicateur de Développement Humain (IDH<sup>56</sup>) pour pallier les manques de l'approche en termes de Produit Intérieur Brut (PIB).

À l'échelon du ménage, on retrouve par exemple les niveaux d'éducation et de santé, la qualité de l'habitat, les biens dont disposent les individus ou encore leur profil socio-démographique (statut marital, taille du ménage, appartenance ethnique,...). Il faut ensuite réduire cette information multidimensionnelle pour pouvoir la projeter sur une carte. Nous avons choisi la classification ascendante hiérarchique (CAH), méthode robuste et éprouvée qui permet de définir des profils types et offre des interprétations discriminant bien les individus statistiques. Oliveau et al. (2009) avaient opté pour une classification reposant sur la méthode des K-means qui donne des résultats très semblables.

La base de données caractérisant les ménages comprend 130 variables dont 76 sont relatives à l'habitat et à l'équipement. Une sélection de variables a d'abord été opérée pour caractériser les inégalités de richesse dans l'espace étudié. La difficulté du choix réside dans la double acception que peuvent prendre les variables. Comme souvent en sciences sociales, celles-ci sont tantôt descriptives, tantôt explicatives vis-à-vis du phénomène étudié. Les corrélations sont aisées, mais les causalités plus difficiles à mettre au jour. Après différentes analyses (corrélations et analyses factorielles), ce sont 38 variables (tableau 4) qui ont été retenues pour discriminer les inégalités de richesse à l'échelle de l'agglomération. On peut distinguer quatre grandes catégories : celles qui relèvent de l'équipement collectif, de l'équipement privé, de la qualité de l'habitat et celles qui caractérisent spécifiquement le ménage. Ces variables, toutes quantitatives continues, représentent le pourcentage de ménages par DR concernés par la modalité. Soit, par exemple, le pourcentage de ménages d'un même DR qui bénéficient du réseau d'égout. Considérant la nature de ces variables, nos choix d'exploration ont porté sur les ACP (Analyse en Composantes Principales) et la CAH (Classification Ascendante Hiérarchique).

---

<sup>56</sup> Voir la présentation sur le site du PNUD : <http://hdr.undp.org/fr/statistiques/idh/>

**Tableau 4 : Les variables censitaires sélectionnées pour l'analyse des inégalités de richesse**

Équipement collectif	Équipement privé	Qualité de l'habitat	Caractéristiques du ménage
Évacuation des eaux usées -Réseau d'égout	Éclairage -Électricité -Groupe électrogène -Bougie	Type de logements -Baraque -Case -Maison basse -Maison à étage -Appartement	Statut d'occupation -Propriétaire -Locataire
Évacuation des ordures ménagères -Camion de ramassage	Équipement en matériel électroménager -Télévision -Lecteur vidéo -Réfrigérateur/congélateur -Foyer amélioré -Climatiseur -Machine à coudre -Aucun	Qualité de l'habitat -Mur en ciment -Mur en bois -Mur en banco -Mur en paille -Toit en ciment -Toit en bois -Toit en banco -Toit en paille -Sol en carrelage -Sol en ciment -Sol en terre -Sol en sable	Ressources -Analphabète -A déjà sauté un repas <sup>57</sup> -A déjà sauté des soins <sup>5</sup>
	Équipement en moyens de transport -Voiture -Deux-roues motorisé -Bicyclette		
	Approvisionnement en eau -Robinet intérieur		

La CAH donne des résultats très lisibles concernant les inégalités de richesse dans la ville. La catégorie des DR les plus aisés regroupe les ménages les mieux équipés (surreprésentation des climatisations et automobiles), les mieux insérés (taux d'activités supérieurs) et qui occupent des appartements<sup>58</sup>, dont ils ne sont pas propriétaires<sup>59</sup>. À

<sup>57</sup> Pendant les 6 mois précédant la passation du questionnaire, faute de moyen financier.

<sup>58</sup> Dans une ville basse, comme Dakar, le logement dans un appartement constitue un marqueur social (hyper centralité de la résidence), souvent associé à sa fonction : logement par l'employeur. Par exemple, les

l'opposé, les plus pauvres (pauvres et très pauvres) se caractérisent par un sous-équipement marqué. La différence entre les pauvres qui occupent la commune de Dakar et les très pauvres, situés à l'est de l'agglomération, est surtout basée sur l'accès à l'emploi et aux aménités urbaines. La catégorie moyenne correspond au profil type de la Capitale, il s'agit donc de populations pauvres. Enfin, la catégorie moyenne supérieure pourrait représenter les espaces où émergerait la classe moyenne dakaroise.

Au final, les profils de classes présentés correspondent bien aux résultats obtenus par d'autres travaux sur l'agglomération Dakaroise (N'Donky, 2011) et par d'autres enquêtes plus spécifiques sur la pauvreté (ANSD, 2008 ; Minvielle et al., 2005).

**Figure 18 : Profil économique des districts de recensement dakarois**

Pourcentage de ménages:	Aisés	Pauvres	Moy.	T. pauvres	Moy. sup.
in alphabètes	-	++	-	+	++
éclairés à l'électricité	++	-	+	-	-
ayant un groupe électrogène	+	-	+	-	-
éclairés à la bougie	--	++	-	++	--
équipés de téléviseur	---	+	+	-	-
équipés de lecteur vidéo	+++	--	-	--	++
équipés de réfrigérateur ou de congélateur	++	--	+	--	++
équipés d'un foyer amélioré	+	-	+	-	+
équipés de climatiseur	++++	-	-	-	+
équipés de machine à coudre	+	-	-	-	+
sans équipement	--	+	-	++	--
équipés d'au moins une voiture	++++	--	-	-	++
équipés d'au moins une mobylette	++++	-	-	-	+
équipés d'au moins une bicyclette	+	-	-	-	+
évacuant leurs eaux usées par un réseau d'égout	+++	--	+	-	++
se débarrassant de leurs ordures par camion de ramassage	+	--	+	-	+
propriétaires de leur logement	---	+	-	-	+
locataires de leur logement	+++	-	+	-	-
vivant dans un logement de type case	-	+	-	+	-
vivant dans un logement de type baraque	-	-	-	++++	-
vivant dans un logement de type maison basse	---	++	-	-	--
vivant dans un logement de type maison à étage	-	--	+	--	++
vivant dans un logement de type appartement	++++	-	-	-	+
vivant dans un logement avec des murs en ciment	+	+	-	---	+
vivant dans un logement avec des murs en bois	-	-	-	++++	-
vivant dans un logement avec des murs en banco	+	-	+	+	-
vivant dans un logement avec des murs en paille	-	-	-	+++	-
vivant dans un logement avec un toit en ciment	+++	--	+	--	++
vivant dans un logement avec un toit en bois	--	+++	-	-	--
vivant dans un logement avec un toit en banco	-	-	-	++++	-
vivant dans un logement avec un toit en paille	-	+	+	++	-
vivant dans un logement avec un sol en carrelage	++++	--	-	--	+++
vivant dans un logement avec un sol en ciment	---	+	+	+	--
vivant dans un logement avec un sol en banco	-	-	-	+++	-
vivant dans un logement avec un sol en sable	--	++	-	+	--
ayant sauté un repas dans les 6 mois avant le recensement	--	++	+	++	--
ayant sauté un soin dans les 6 mois avant le recensement	--	++	-	+	--
approvisionnés en eau avec robinet intérieur	+	--	+	--	++

Listing CAH- Outputs - Philcarto

Interprétation des distances aux moyennes :

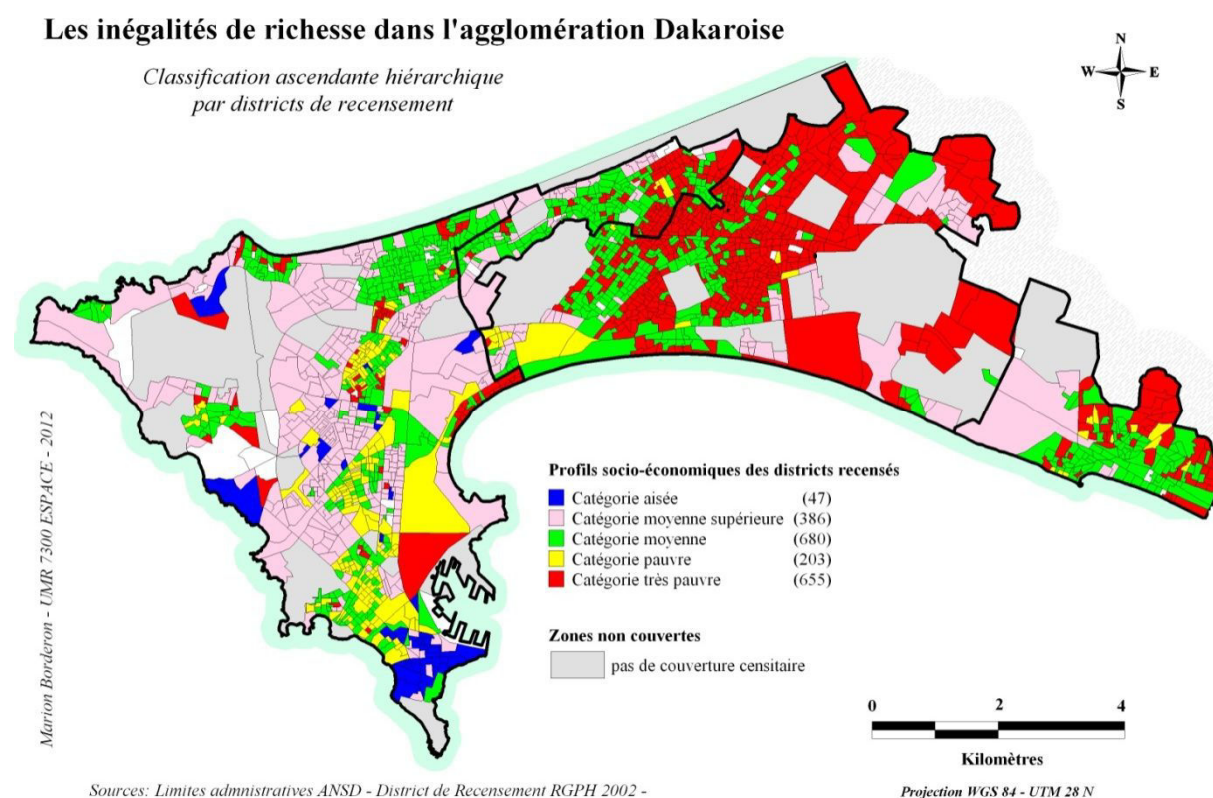
- Distances positives : '+' faible (0.5), '++' sensible (0.5 -> 1.0), '+++ nette (1.0 -> 1.5), '++++ forte (>1.5)
- Distances négatives : '-' faible (-0.5), '--' sensible (-0.5-> -1.0), '--- nette (-1.0 -> -1.5), '---- forte (< -1.5)

universitaires ne sont pas propriétaires de leur logement puisque la faculté les loge dans des appartements du centre-ville.

<sup>59</sup> Si la propriété évite en partie la pauvreté, elle n'est pas pour autant signe de richesse.

La figure 19 propose la projection cartographique des résultats de la CAH. On y retrouve les grands éléments de la géographie dakaroise, mais avec des nuances nouvelles. L'opposition est-ouest existe bien, mais elle ne se cantonne pas à une opposition entre la commune de Dakar et ce que l'on considère parfois comme sa banlieue (Pikine notamment) (Tall, 2009). La cartographie souligne avant tout la grande hétérogénéité de la capitale, que ce soit entre l'est et l'ouest de la ville ou à des échelles plus fines, comme au centre historique de Dakar, où la pauvreté de Medina reste accrochée au pied de la richesse du Plateau.

**Figure 19 : Les inégalités de richesse dans l'agglomération dakaroise en 2002**



Cette cartographie des inégalités de richesse réalisée, nous pouvons interroger à présent l'imagerie satellite. Deux perspectives s'offrent à nous :

-accroître nos connaissances sur la morphologie urbaine et l'occupation du sol, informations dont nous ne disposons pas pour l'instant,

-percevoir dans quelle mesure l'analyse d'image permet de souligner des différences paysagères et sociales au sein de la ville. En les comparant avec les observations extraites du recensement, nous pourrions évaluer les capacités de l'image à extraire des informations démographiques à l'aide de techniques simples.



## 1.2 Un rêve déjà ancien : voir le paysage social à distance

Comme nous l'avons souligné précédemment, les images satellites ne produisent pas directement de données socio-économiques, même si l'on peut faire un certain nombre d'extrapolations à partir de leur analyse (voir la synthèse de Dureau et al., 1989). Il y a d'ailleurs un principe qui mérite d'être souligné en télédétection : on ne voit que ce que l'on cherche et il faut nécessairement valider les résultats obtenus par une source extérieure. Des analyses de terrain sont par exemple nécessaires. En ce qui concerne l'identification de l'occupation du sol par classification des images, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Toutes les méthodes reposent sur un processus permettant de regrouper au sein de mêmes classes les pixels qui possèdent des caractéristiques semblables (Guis, 2007). Il existe deux grandes familles de classifications numériques : les méthodes non supervisées et celles supervisées. Les classifications non supervisées ou automatiques ne nécessitent aucune connaissance *a priori* du terrain, tandis que pour les classifications supervisées, l'utilisateur doit définir le nombre et la nature des classes qu'il souhaite obtenir et identifier des trames archétypiques, dites " parcelles d'entraînement " (ou ROI - *Region of Interest*). Ces parcelles définissent des zones de l'image appartenant à un type de couvert ou d'occupation du sol. Ces classifications ont été nommées "Classification Pixel à Pixel" (CPP). Plus récemment, d'autres méthodes sont développées. Il s'agit des "Classifications Orientées Objet" (COO). Elles ont pour principe de segmenter l'image en objets. Par la suite, les étapes du traitement sont similaires à celles de la classification supervisée sauf que ce ne sont pas des pixels qui sont classés, mais des objets segmentés. Les algorithmes de segmentation délimitent les objets en fonction de leur homogénéité. Un des intérêts de ces approches est que les objets peuvent être décrits avec un choix plus vaste d'attributs que les pixels (Benz et al., 2004). Il est en effet possible d'intégrer dans les COO des informations sur la forme et la taille des objets (Guis, 2007). Nous allons, dans un premier temps, détailler les étapes de réalisation d'une classification supervisée sur les images SPOT 5 de 2007. Nous cherchons à mettre en évidence, au sein de l'agglomération, les différents types de tissus urbains aux caractéristiques morphologiques spécifiques.

### 1.2.1 Une classification supervisée de l'occupation du sol<sup>60</sup>

Le profil urbain de Dakar, réalisé par le programme des Nations Unies pour les établissements humains (UN Habitat, 2007), nous rappelle brièvement que la construction d'une typologie urbaine de Dakar permet de retracer l'histoire de la ville. Des anciens villages lébous aux quartiers coloniaux en passant par les lotissements planifiés ou d'habitat informel sans réseau d'adduction d'eau, l'agglomération connaît des espaces aux morphologies bien différenciées. Ces divers types d'habitats présentent des caractéristiques facilement

---

<sup>60</sup> Lorsque nous faisons appel aux méthodes et indices exposés au sujet de la télédétection, aucune précision bibliographique n'est formulée. Les références que nous faisons dans le domaine sont suffisamment connues pour être couvertes par ces ouvrages généraux (Girard & Girard, 2010).

discriminables par les méthodes de télédétection, telles que le type et la densité de bâtiments ou le type de sols. A cet effet, nous avons appliqué une classification supervisée par maximum de vraisemblance (*Maximum Likelihood*) sur une image 6 bandes de 2007<sup>61</sup>. Les 6 bandes sont composées comme suit :

- 3 bandes à 2,5 mètres de résolution spatiale (vert, rouge, proche infrarouge).
- 1 bande moyen infrarouge à 10 ré-échantillonnée à 2,5 m puis ajoutée à l'image.
- 2 bandes de texture calculées à partir des 4 bandes de l'image à 2,5m, en se basant sur des matrices de co-occurrence : la variance et le contraste de la bande 1, calculées dans une fenêtre mobile de 5x5 pixels.

La classification supervisée a été effectuée sur l'image à 6 bandes, contenant les 2 bandes de texture. Ce type de classification affecte chaque pixel aux classes définies par des parcelles d'entraînement, sur une base probabiliste. Sur l'image SPOT-5 de 2007, ces parcelles ont été numérisées manuellement par photo-interprétation, en 16 classes différentes, par un opérateur ayant une bonne connaissance du terrain. Six classes d'urbain sont définies pour représenter au mieux l'hétérogénéité du couvert dans l'agglomération, ainsi que 5 types de sol nu (y compris le goudron des routes), 3 types de végétation, mixée ou non avec du sol nu, 2 types de couvert en eau, mixé ou non avec de la végétation. Il était attendu que la présence des bandes de texture améliore la détection des différents types d'urbains, caractérisés par différentes tailles et proximités de bâtiments. En particulier, l'urbain de type "village", très dense, peut se confondre avec d'autres types de quartiers si le caractère d'organisation du bâti est ignoré. Suite au processus de classification, un filtre de majorité a été appliqué sur l'image classée, par l'utilisation d'une fenêtre glissante de 5x5 pixels, de façon à supprimer les pixels isolés.

450 polygones d'entraînement ont été numérisés au sein des 16 classes pour une superficie totale de 1.7 km<sup>2</sup>. Selon la règle généralement admise, la superficie des parcelles d'entraînement couvre environ 1% de la superficie à classer. La qualité de la classification a été vérifiée par le calcul de la précision globale (*Overall Accuracy*) et du coefficient Kappa, c'est-à-dire la qualité de l'accord entre le résultat de la classification et des parcelles représentant la réalité du terrain et n'ayant pas servi pour l'entraînement. Alors que la précision globale représente le pourcentage brut de pixels bien classés, le coefficient Kappa tient compte de la part aléatoire des pixels bien classés.

L'objectif de l'étude étant dirigé vers l'identification des différents types d'urbains, la qualité de la classification supervisée a été calculée en regroupant les 4 classes contenant de la végétation (c'est-à-dire "végétation seule", "végétation + eau", "végétation + sol nu"; "végétation+sol nu2") ainsi que 3 classes de sol nu contenant de la terre (les classes de

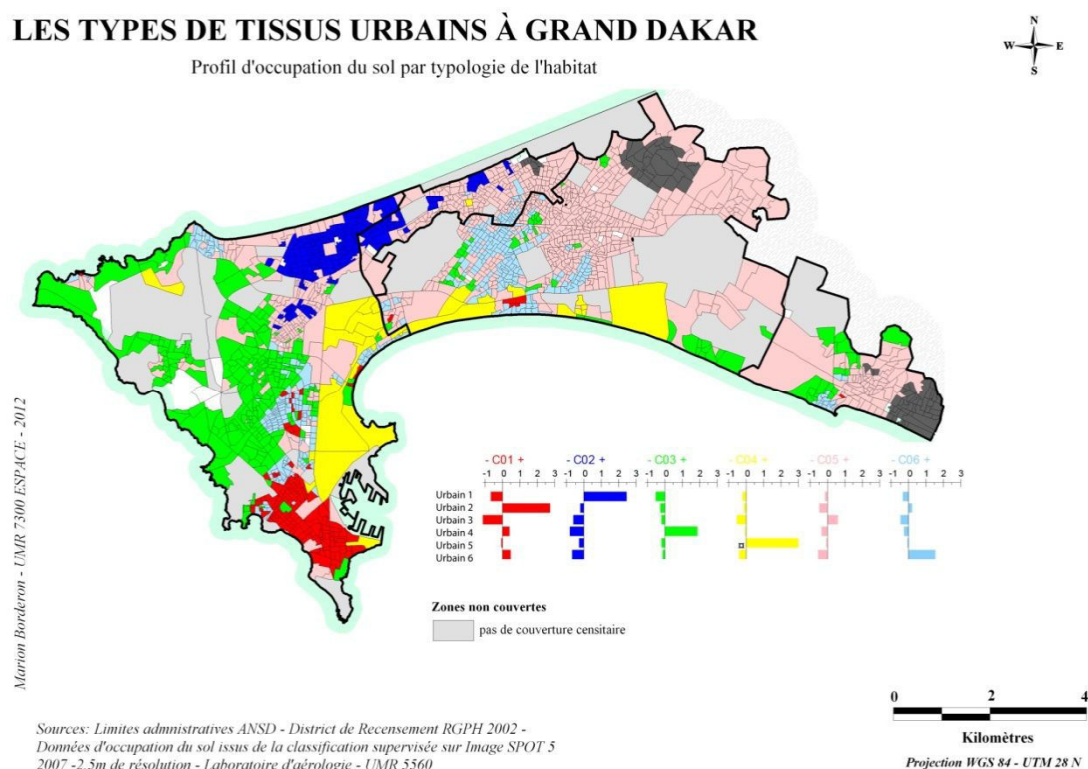
---

<sup>61</sup> Tous les traitements d'images ont été effectués avec le logiciel ENVI 4.7.

goudron et de sable ont été conservées). Le Coefficient Kappa a été calculé à 79 % (précision globale = 82%). Quant à la différenciation bâti/non bâti uniquement, le Kappa est de 88% (précision globale = 94%). Si on calcule le Kappa entre les différents types d'urbains seulement, il est de 76% (précision globale = 82%). Les erreurs de classification les plus importantes se situent au niveau de l'urbain 2, parfois confondu avec les urbains 5 et 6. Ces valeurs de discrimination au niveau des tissus urbains représentent la précision sur laquelle on se base pour la suite des prospections. Pour aller plus loin, nous pourrions chercher à améliorer la qualité de la différenciation de chaque type d'urbain. Par exemple, la taille des bâtiments, la largeur des routes ou la distance séparant les maisons des routes ont déjà été utilisées comme des indicateurs de la qualité de l'habitat. Des images satellites à haute ou très haute résolution spatiale (env. 1 m) permettraient de fournir ce type d'informations.

On distingue alors 16 différents types d'occupation du sol dans la figure 21<sup>62</sup>. Pour aller plus loin, nous avons donc caractérisé chaque DR en fonction de son type d'occupation du sol. Là encore, nous avons eu recours à une CAH. Elle aurait pu porter sur les 16 types d'occupation du sol identifiés, mais seules les 6 classes d'urbains ont été réellement discriminantes et avaient un sens par rapport à l'utilisation que nous souhaitions faire de cette classification. Il en résulte une typologie qui reprend les profils de la classification supervisée, cartographiée ci-dessous.

**Figure 20 : Profils types des tissus urbains des districts de recensements**



<sup>62</sup> 6 profils de tissus urbains, 5 profils de sols nus, 5 profils de végétation et/ou d'occupation en eau.

Les disparités d'occupation du sol, visibles sur cette carte, ne sont pas aussi marquées que les disparités socio-économiques. Agréger les informations d'occupation du sol à l'échelle du DR lisse l'information et donne la tendance majoritaire du type de tissus urbains présent dans cette entité spatiale. Par conséquent, certaines subtilités de l'hétérogénéité socio-spatiale de la zone d'étude sont ainsi moins visibles. Les quartiers du Plateau par exemple semblent plus uniformément contenir le type de tissu 'urbain 2'. Quel lien y a-t-il alors entre tissu urbain et niveau de richesse ?

Au-delà de l'accroissement des connaissances sur l'environnement dakarois, ces deux typologies permettent de se demander si certains tissus urbains correspondent à un niveau de richesse particulier. Nous disposons désormais pour l'ensemble de l'agglomération dakaroise d'une information à l'échelle des DR qui nous indique leur niveau de richesse et le type de tissu urbain qui les caractérisent. Nous savons par ailleurs qu'il existe souvent un lien entre les deux, et nous supposons donc qu'il est possible de le mettre en évidence. L'idée sous-jacente est de pouvoir mesurer la corrélation entre les trames urbaines reconnues par télédétection et les caractéristiques économiques des espaces, le bâti constituant alors le lien entre l'information spatiale et la signification sociale des objets identifiés.

### 1.2.2 Caractérisation des types de tissus urbains

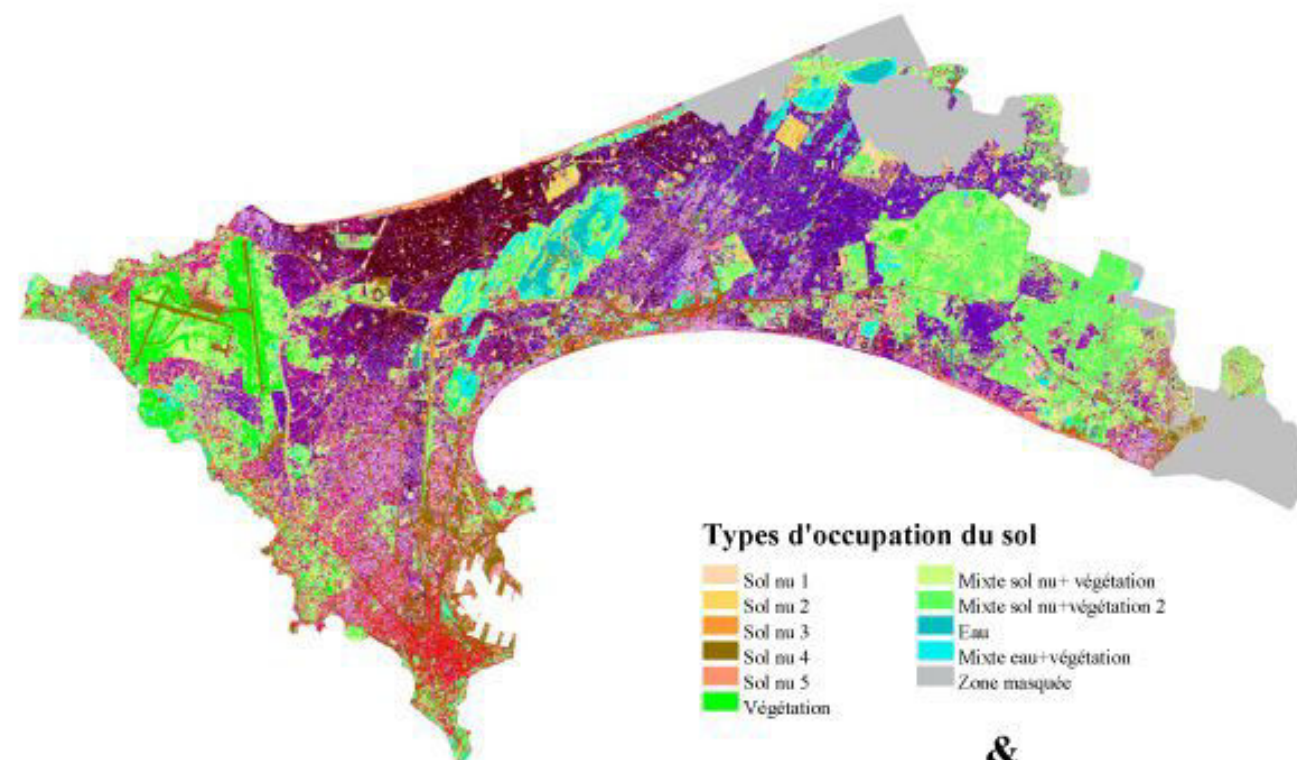
Nous avons, à l'aide de la littérature, de notre connaissance du terrain et des photographies prises, décrit précisément les six tissus urbains décelés par imagerie satellite (Borderon et al., 2014)<sup>63</sup>. Les résultats prennent la forme de six feuillets, présentant respectivement les caractéristiques visuelles des quartiers concernés, la qualité visuelle (avec des extraits d'image SPOT 5 de 2007 en saison humide-résolution 2,5m-MIR 10m), les parcelles d'entraînements (zoom sur les ROI des extraits d'images utilisées précédemment), la localisation principale par commune, le type d'habitat avec les strates socio-économiques associées (d'après l'analyse des variables du RGPH fournies par l'ANSD) et les documents photographiques représentatifs du type de tissus urbains. Enfin, à la suite de la typologie, un encart nous éclaire sur des processus qui ont influencé l'aménagement de l'agglomération dakaroise et explique, en partie, la configuration actuelle de ces quatre villes de la presqu'île du Cap Vert.

**Figure 21 : Les six types de tissus urbains issus de la classification supervisée de l'occupation du sol, 2007**

---

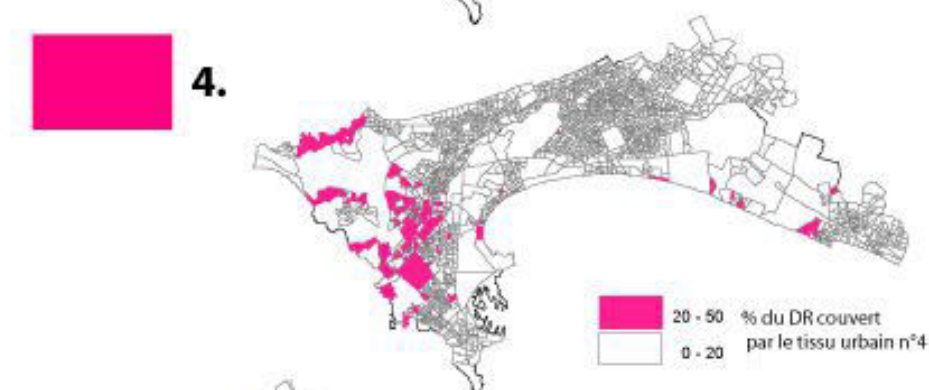
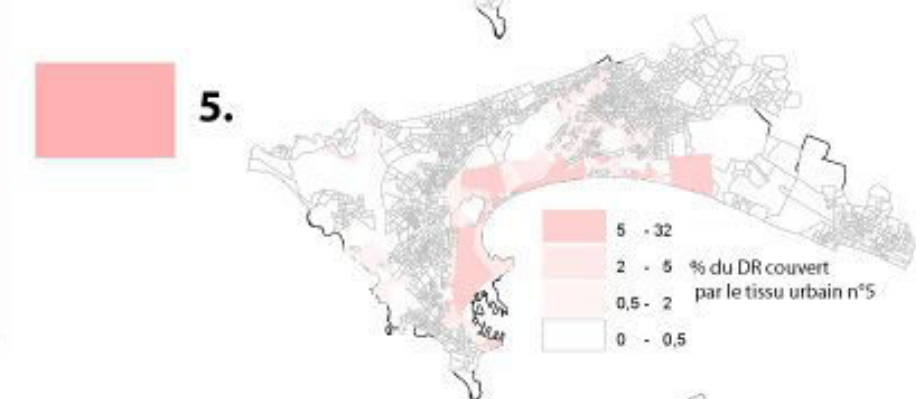
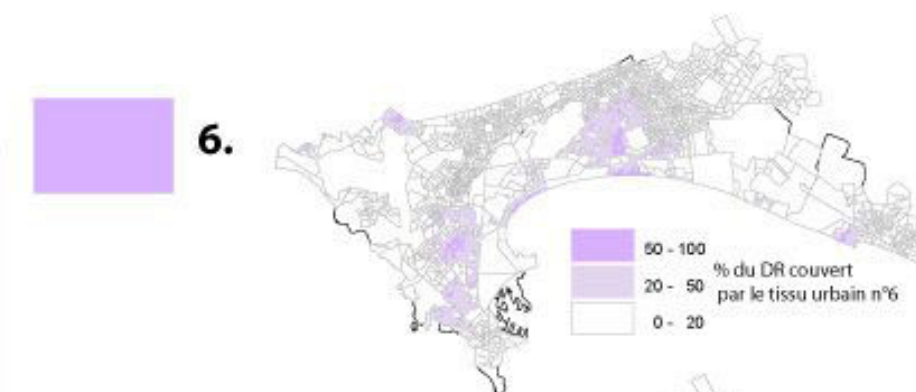
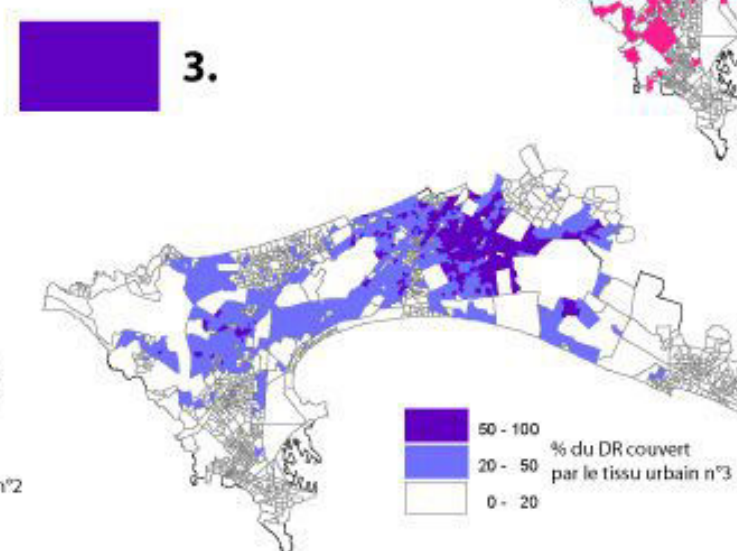
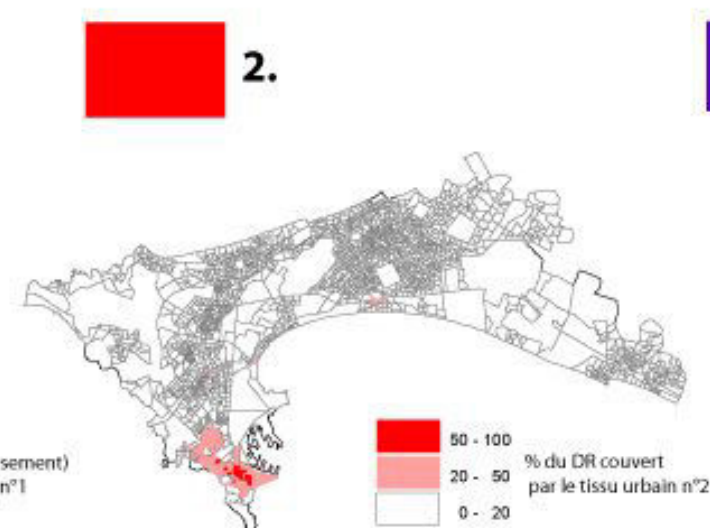
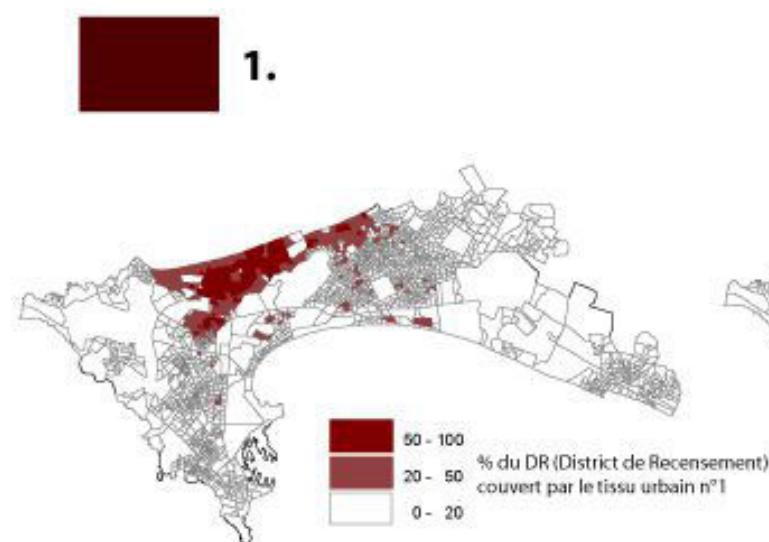
<sup>63</sup> A ce sujet, l'aide précieuse d'A. N'Donky, V. Machault, C. Vignolles, J-P. Lacaux et J-A N'Dione est à noter. Les références cités ci-après ont également permis de préciser ou renforcer nos connaissances et nos descriptions de l'agglomération (Un Habitat, 2007 ; ANSD, 2006 ; Tall, 2009).

# CLASSIFICATION SUPERVISÉE DE L'OCCUPATION DU SOL SEPTEMBRE 2007, GRAND DAKAR, SENEGAL



0 6 12  
Kilomètres

## & Les six tissus urbains



0 12 kms

Source: Image SPOT 5 de 2007 en saison humide – résolution 2,5m – MIR 10m –

Classification supervisée avec canaux texturaux. Laboratoire d'aérologie: V. Machault, C. Vignolles et JP. Lacaux

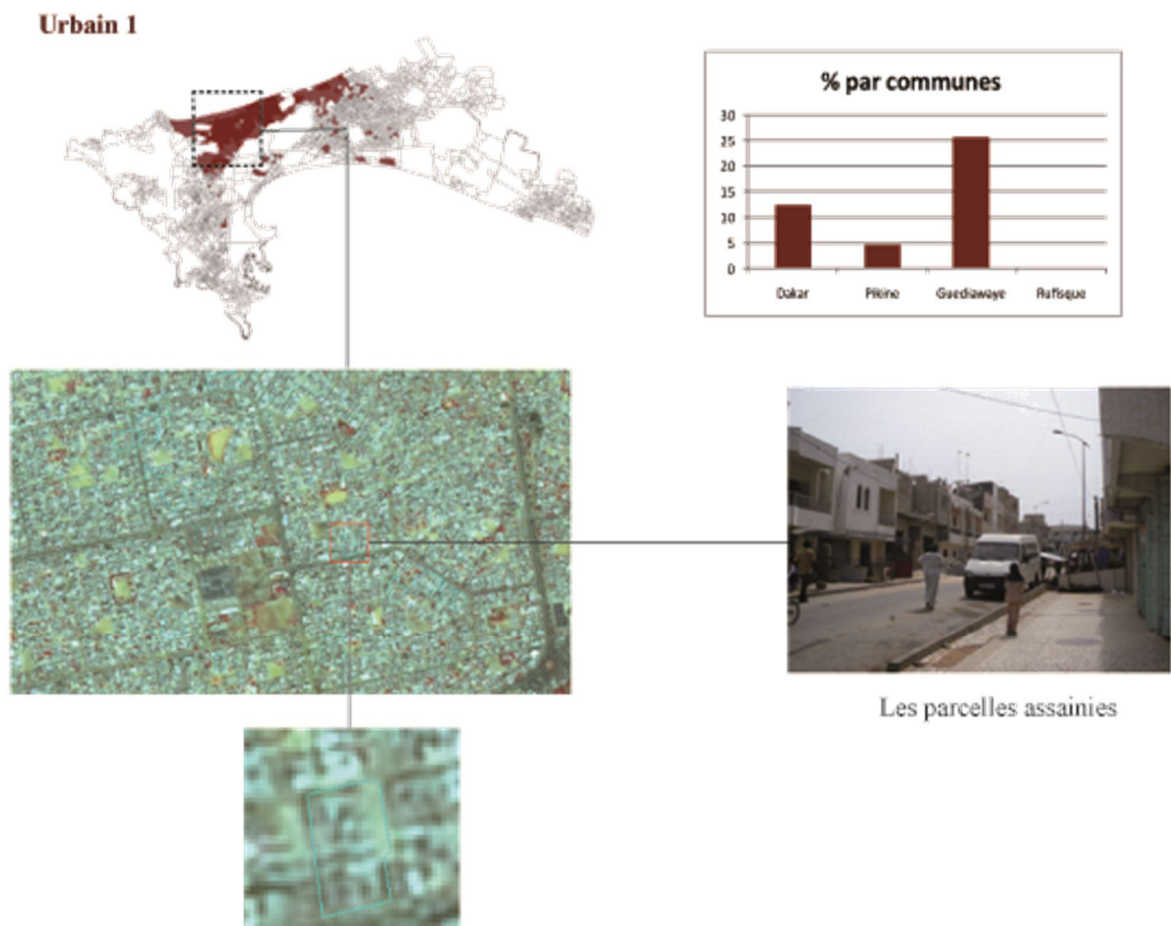
Marion Borderon - UMR ESPACE - juin 2013



Le premier tissu urbain se distingue sur l'image satellite par un quadrillage apparent de l'ensemble du bâti. Entre les îlots de maisons, la voirie est goudronnée tandis que les parcelles sont le plus souvent délimitées par des chemins de sable. Les places publiques sont également sablonneuses (terrains de jeu (foot), zone publique de marché, arrêts des bus) et le peu de végétation restent caractéristique de ces communes d'arrondissement. Les Parcelles Assainies au nord-est de Dakar font parties de celles-ci. Elles sont constituées d'un habitat spontané régulier réalisé par auto-construction sur des lotissements approuvés.

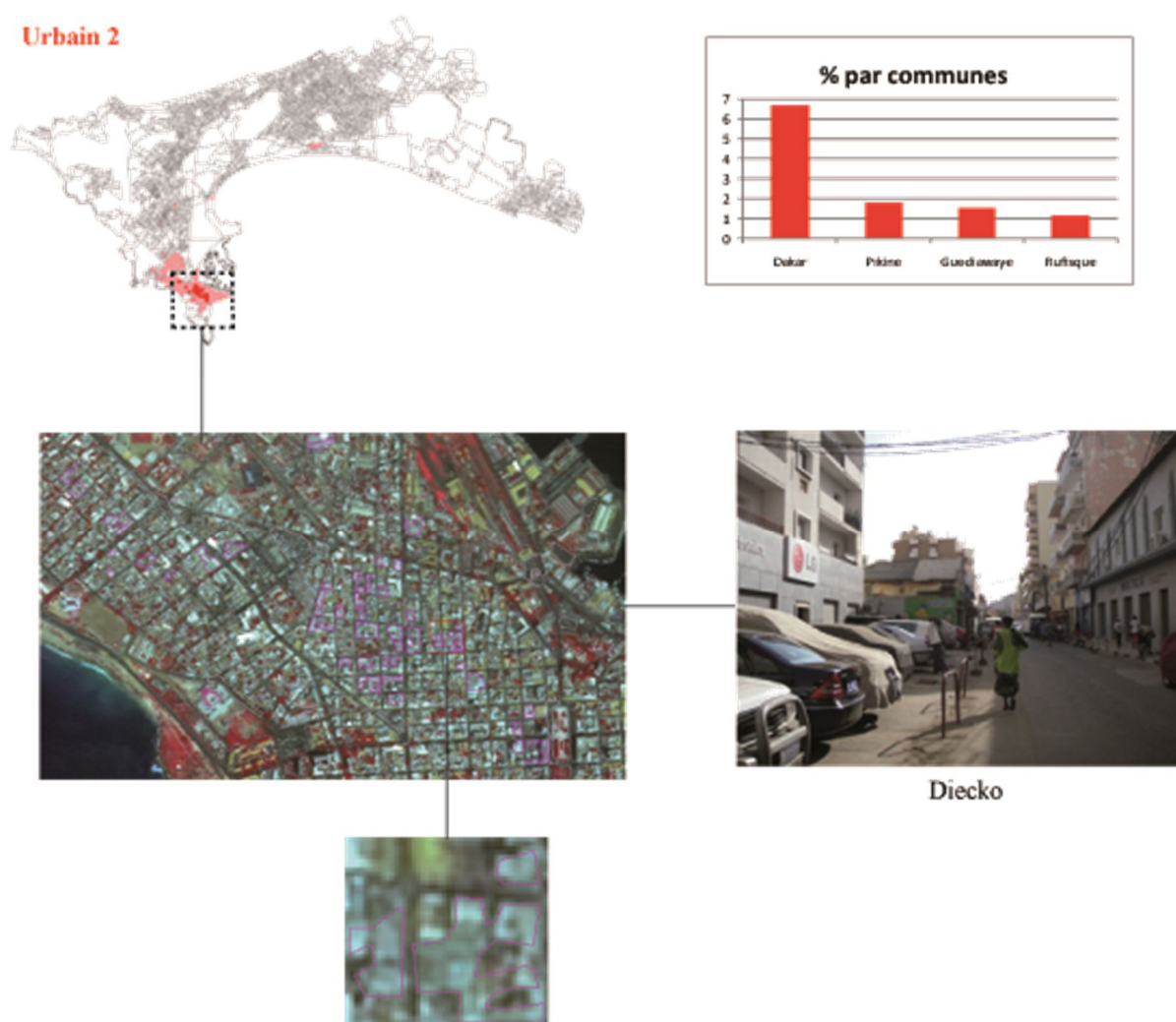
---

Figure 22 : Tissu urbain 1



Ce tissu urbain est localisé principalement dans les quartiers du centre-ville de Dakar. La densité de bâti est importante, la voirie goudronnée et les bâtiments verticaux (immeubles de plusieurs étages). Le quadrillage est également bien visible. On retrouve ici les quartiers anciens et commerçants avoisinant les marchés de Sandaga et du Plateau, comme Diecko, qui disposent d'un habitat régulier planifié. Les équipements publics (réseaux d'adduction d'eau, égouts) sont présents et la centralité de ces quartiers leur confère une accessibilité avantageuse aux services.

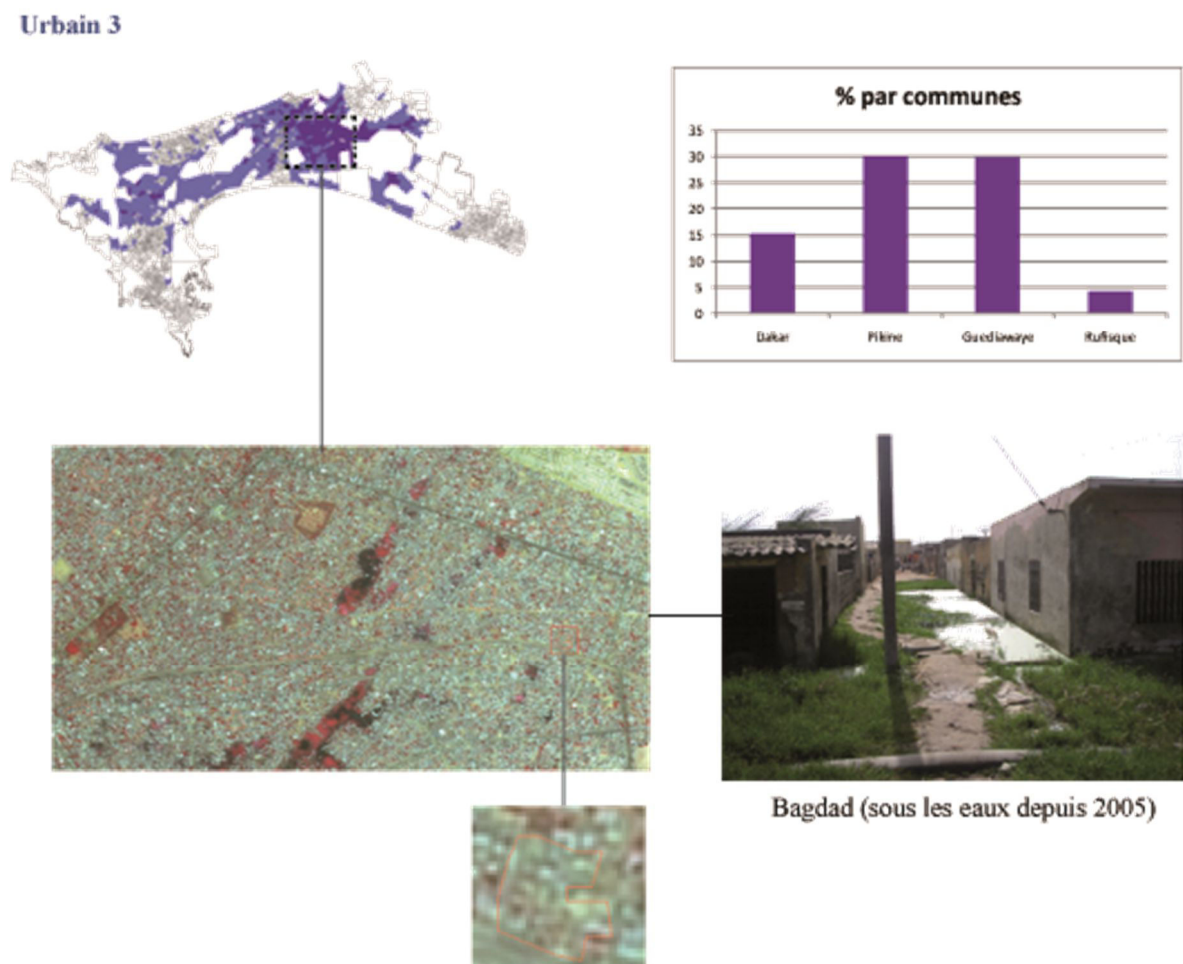
Figure 23 : Tissu urbain 2



Cet habitat spontané irrégulier se répartit principalement sur les communes de Pikine et Guédiawaye. La voirie est ici peu lisible entre le parcellaire qui ne semble pas présenter une disposition géométrique préétablie. Les parcelles sont plutôt de petites tailles et on retrouve des zones d'eau et de végétation imbriquées au milieu du paysage urbain. Ces quartiers ont été créés par les déguerpissements et l'extension urbaine de la ville des années 70-80, résultat de la migration rurale. L'occupation de cet espace s'est faite de façon non planifiée, parfois sans titre foncier ni rétribution financière, d'où le nom qui leur est parfois attribué de "quartiers flottants". Les rues sont étroites, sablonneuses et difficiles d'accès pour les véhicules motorisés. On retrouve ici les zones qui ont subi et subissent des inondations majeures lors de l'hivernage.

---

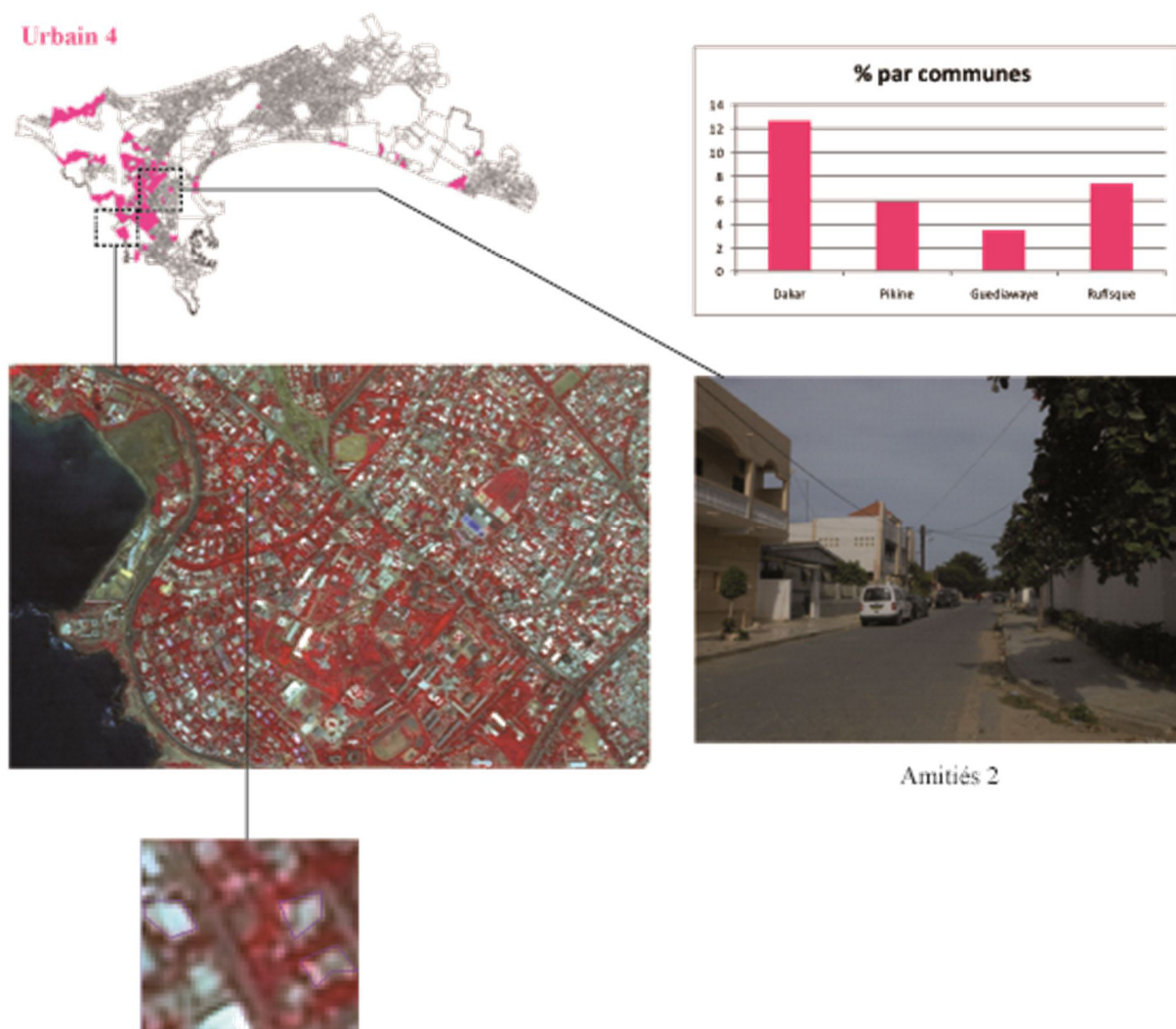
**Figure 24 : Tissu urbain 3**





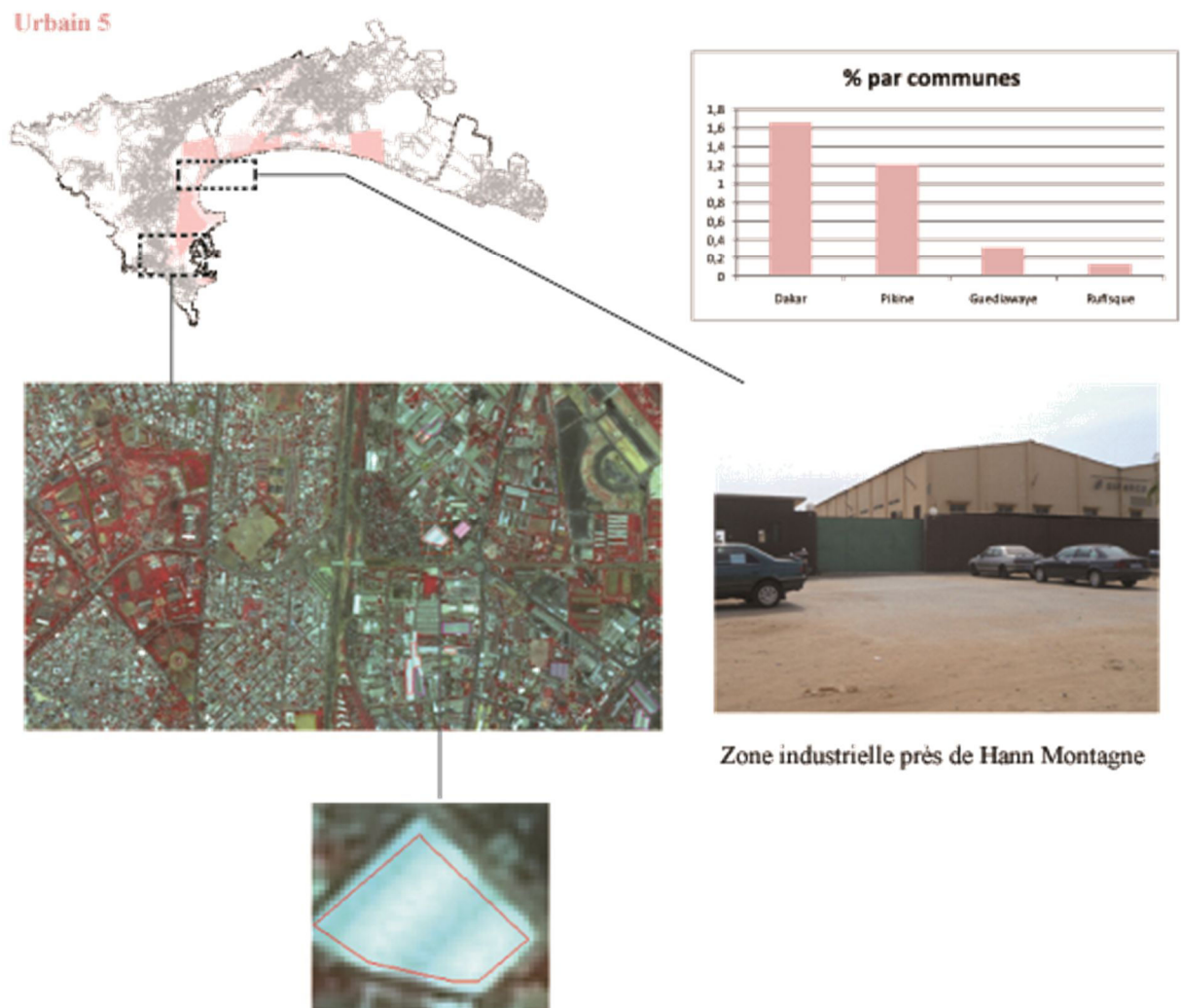
Le tissu urbain 4 représente les zones résidentielles de bon standing, comprenant majoritairement des maisons individuelles à deux étages, des villas avec jardins ou encore des résidences surveillées. On retrouve les quartiers aisés de Dakar, le long de la Corniche (Fann, Sacré Cœur), à Point E, Amitié et certains quartiers de Liberté ou encore aux Almadies et à Ngor (hors Ngor village). La densité de bâti est relativement faible et la voirie est goudronnée. La végétation est présente dans le parcellaire.

Figure 25 : Tissu urbain 4



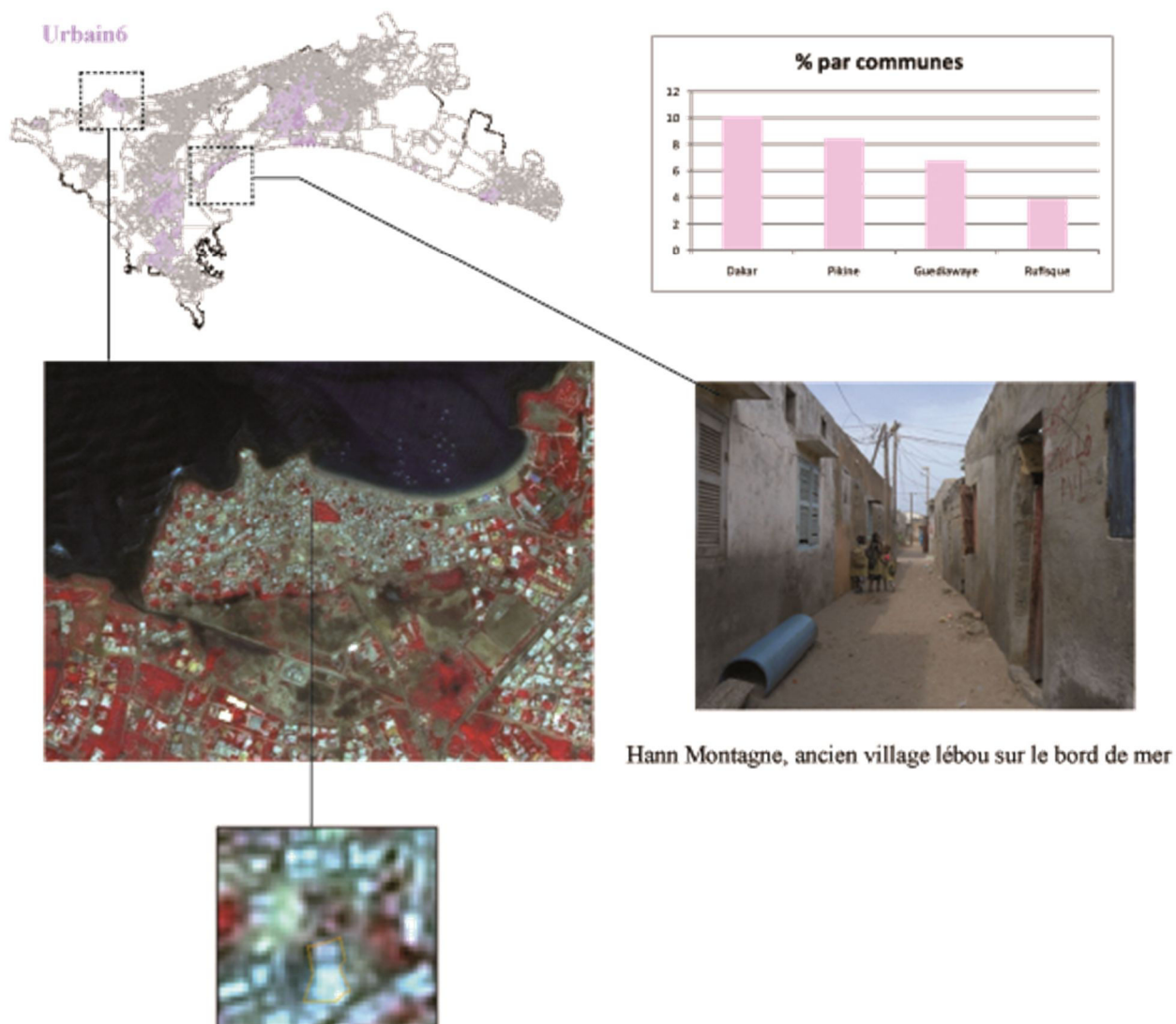
Ce tissu représente l'habitat non résidentiel à vocation principalement industrielle comprenant également quelques établissements du centre-ville. Ce tissu est faiblement représenté et se situe majoritairement dans les districts qui comprennent des zones industrielles et qui s'étendent le long de la côte sud de la presqu'île. Les bâtiments sont de grande taille et disposent pour la plupart d'un toit dont la réflectance est importante (c'est le cas de la taule par exemple).

Figure 26 : Tissu urbain 5



L'habitat du tissu urbain 6 semble anarchique avec une impression d'îlots de maisons agglomérées sans quadrillage prédéfini. Les parcelles sont de petite taille, composées de maisons basses, et le bâti dense est entrecoupé de routes étroites sablonneuses. On retrouve l'habitat de type villageois avec les villages traditionnels de pêcheurs de Hann, Ngor, Yoff, Ouakam et Cambérène disséminés le long de la presqu'île où les habitants ont toujours fait prévaloir un droit coutumier sur la terre. Dans ces anciens villages, le sol est supposé appartenir à l'ensemble de la collectivité lébou. On retrouve également des poches de ce type d'habitat dans le cœur de la ville de Dakar. Leur composition est similaire mais ne correspond pas à d'anciens villages lébou.

Figure 27 : Tissu urbain 6



### **Encadré 7 : Relogement, éloignement, marginalisation par l'Etat**

Ces trois processus constituent des stratégies de division sociale de l'espace où les pauvres sont éloignés de la ville moderne. Historiquement, face à l'opposition des autochtones, le pouvoir colonial avait mis en place un arsenal législatif et réglementaire pour éloigner les " indigènes " du périmètre urbain (Faye & Thioub, 2003). Ainsi, les premiers quartiers déguerpis du Plateau sont Santhiaba, Ngaraf, Thieudème,... En 1889, fut reconstitué le quartier Fann Hock. Entre 1904 et 1914, une autre vague de déguerpissements entraîne la création des quartiers Kay Findiw, Ousmane Diène, Médina,... qui progressivement seront intégrés dans l'espace urbain. La marginalisation sociale s'amplifie et sera alimentée par les immigrants venus peupler les quartiers de Colobane, Fass, Daroukhane, Kipkoko, Wakhinane, Grand-Dakar, Gazelle, créés avant la deuxième guerre mondiale. Elle sera suivie d'un renforcement de la main d'œuvre industrielle, qui loge dans ces quartiers populaires. En 1952, une autre vague de déguerpissements amène certains de ces marginaux à Pikine (Pikine ancien), où ils sont relogés, tandis que d'autres quartiers (Grand Dakar, Fass, Colobane) se font encercler par les logements de la SICAP et des lotissements de Fann, Point E, Zones A et B, Bop, Ouagouniayes.

Enfin, par la configuration atypique que cela confère à la ville, il faut noter la spécificité des droits à la terre de la communauté lébou. Très anciennes et antérieures à la colonisation, ces stratégies ont produit des villages de pêcheurs (Ngor, Ouakam, Yoff, Cambérène, Hann sur mer,...) dont la composition sociale et ethnique est plus homogène, notamment dans les villages de l'ouest. Dans ces villages (quartiers), il y a une reconnaissance tacite par l'Etat, du droit sur la terre aux autochtones, qui fait que l'occupation de l'espace n'est pas soumise à un plan d'occupation (Seck, 1970 ; Legros, 2007). Ainsi, le plan de ces villages n'a pas connu d'évolution véritable et il se démarque profondément du reste du paysage urbain. De fait, toutes ces observations montrent que la configuration de l'espace dakarois est aussi l'expression des rapports sociopolitiques (N'donky et al., 2015).

### 1.3 De l'occupation du sol aux inégalités de richesse : quels liens?

Les tissus urbains sont, nous l'avons déjà perçu dans la phase de description de la typologie, liés à certains profils socio-économiques types. La morphologie des paysages urbains souligne les discontinuités spatiales fines que connaît la société dakaroise (N'donky et al., 2015). L'analyse des données censitaires, nous a permis de créer un indicateur des inégalités de richesse que nous avons confronté aux profils d'occupation du sol des DR. Une cartographie représentant les résultats de la classification ascendante hiérarchique (CAH) issus d'une sélection de variables a déjà été présentée (voir figure 19). L'hétérogénéité du niveau de richesse et sa structure socio-spatiale avaient été soulignées et nous avons vu que les espaces comprenant les classes aisées sont peu nombreux et que c'est surtout le quartier du Plateau qui ressort majoritairement. A l'opposé les classes les plus défavorisées se distribuent

entre certains espaces des centres urbains (Dakar, Rufisque) où les habitants vivent dans des conditions précaires mais sont plutôt propriétaires et proches des équipements collectifs, et les quartiers de banlieues, bien souvent nés des mouvements migratoires récents. Nous avons donc mis en relation les résultats des deux classifications : celles des inégalités de richesse et celles des tissus urbains.

### 1.3.1 Mesure de la relation

Afin de croiser des produits issus de l'analyse des données des deux sources précédentes, nous avons eu recours à test de  $\chi^2$ <sup>64</sup>, qui permet de tester l'indépendance entre deux variables de type qualitatif. Il s'agit de regarder quel lien existe entre l'appartenance d'un DR à une classe de richesse définie par l'analyse des données censitaires et l'appartenance de ce même DR à une classe de profil urbain définie par le biais de la télédétection.

**Tableau 5 : Classification croisée des districts de recensement en fonction de leur appartenance aux classes de richesse/pauvreté et à leur profil urbain**

Type d'urbain Richesse	Classe 1 <i>Urbain 2 dominant</i>	Classe 2 <i>Urbain 1 dominant</i>	Classe 3 <i>Urbain 4 dominant</i>	Classe 4 <i>Urbain 5 dominant</i>	Classe 5 <i>Urbain 3 légèrement dominant</i>	Classe 6 <i>Urbain 6 dominant</i>	Total
Aisés	30	0	8	2	4	3	47
Moyens supérieurs	20	29	159	12	135	29	384
Moyens	50	132	57	6	282	125	652
Pauvres	54	20	14	4	48	61	201
Très pauvres	2	18	34	8	400	145	607
Total	156	199	272	32	869	363	1891

**Tableau 6 : Tableau du  $\chi^2$  (en gras : contributions significatives. En bleu : résidus positifs, en rouge, résidus négatifs)**

Type d'urbain Richesse	Classe 1 <i>Urbain 2 dominant</i>	Classe 2 <i>Urbain 1 dominant</i>	Classe 3 <i>Urbain 4 dominant</i>	Classe 4 <i>Urbain 5 dominant</i>	Classe 5 <i>Urbain 3 légèrement dominant</i>	Classe 6 <i>Urbain 6 dominant</i>	Total
Aisés	<b>176,02</b>	4,02	0,23	4,95	14,34	1,83	171,66
Moyens supérieurs	4,31	27,12	<b>194,94</b>	3,22	9,74	4,66	201,37
Moyens	0,27	0,00	14,43	<b>58,56</b>	1,04	2,30	76,59
Pauvres	<b>84,44</b>	13,02	7,69	0,07	21,31	0,11	126,63
Très pauvres	<b>46,16</b>	6,96	<b>32,55</b>	<b>32,95</b>	<b>52,54</b>	0,50	243,99
Total	311,18	51,13	249,84	99,74	98,97	9,39	820,24

<sup>64</sup> Concernant la méthodologie et l'interprétation du  $\chi^2$ , nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage classique du groupe Chadule (1974).

La forte valeur du  $\chi^2$  observé (820,24), largement supérieur au  $\chi^2$  théorique (45,33 pour  $p=0,001$ ), nous permet de rejeter l'hypothèse que les deux typologies sont indépendantes (avec 99,99% de chance de ne pas nous tromper). Le résultat du test de Tschuprow, qui mesure l'intensité du lien entre les deux objets, vient mettre en perspective le  $\chi^2$ . Cette intensité est de 32%. L'analyse du tableau 6 nous indique quelles sont les contributions les plus importantes au  $\chi^2$ , autrement dit, quels sont les cas de figure où la dépendance entre un type socio-économique de DR et un profil urbain spécifique est la plus forte ou la plus opposée. La distribution des contributions au  $\chi^2$  montre que 8 cas contribuent significativement au  $\chi^2$  (en gras), partagés entre 5 associations positives entre les variables (en bleu) et 3 associations négatives (en rouge).

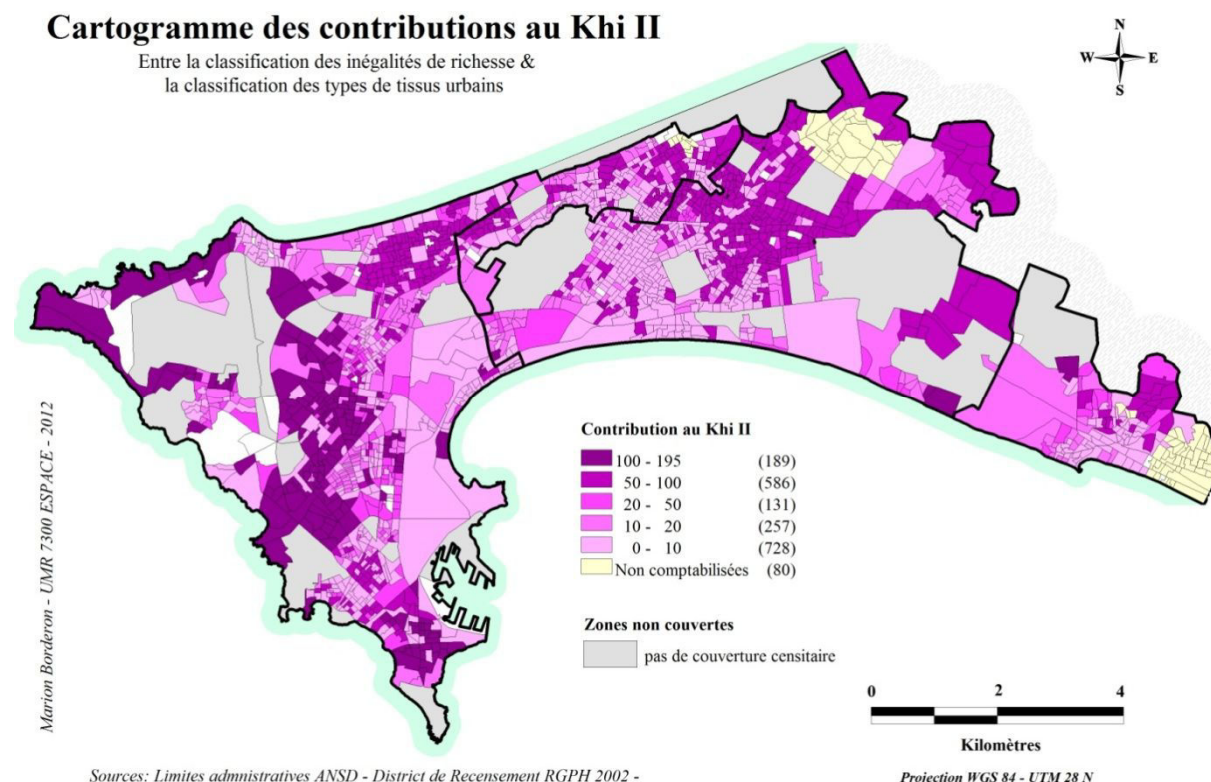
Une cartographie de la contribution au  $\chi^2$  spatialise cette information (figure 28). Cette cartographie permet de décrire les espaces qui sont reconnus par un type d'occupation du sol qui fait écho à un ou des profils socio-économiques des habitants. Nous présentons ici les districts de recensement (DR) qui sont les plus représentatifs de ces corrélations. Les individus de la classe supérieure (contribution au  $\chi^2$  de 100 à 195) sont ceux dont les profils " inégalités de richesse " et " tissus urbains " sont les plus corrélés. À l'inverse, il ressort que les DR de l'ouest de Pikine et ceux de Dakar à proximité de la Patte d'oie n'ont pas un profil urbain type qui nous renseignerait sur la nature de la population résidente<sup>65</sup>.

---

<sup>65</sup> On peut d'ailleurs faire l'hypothèse que cela traduit la marque des changements sociaux à l'œuvre dans ces espaces : enrichissement à Pikine, créant une mixité sociale plus importante ; rénovation urbaine autour de la patte d'Oie,...



**Figure 28 : Cartographie des contributions au Chi<sup>2</sup>**



En outre, la lecture du tableau 6 nous confirme que la dépendance entre les types socio-économiques des DR et leurs profils urbains est forte et identifie des liens marqués entre chaque catégorie. Ainsi, les DR les plus riches sont très majoritairement de type "urbain 2 dominant" (voir les figures de 21 à 27 pour le détail des types urbains). Néanmoins, ce type d'urbain est aussi partagé par des DR pauvres<sup>66</sup>, mais exclut au contraire les DR les plus pauvres. Les DR "moyens supérieurs" sont caractérisés avant tout par des types urbains 4 dominants (et dans une moindre mesure par des types urbains 5), qui s'y identifient pleinement. Les DR "moyens" sont plus souvent présents dans des espaces urbains de type 5. Les DR "pauvres" sont associés au type urbain 2 (qui restent cependant plus associés aux DR "aisés"). Enfin les DR les plus pauvres sont associés au type urbain 3, et montrent une association négative avec les types urbains 2, 4 et 5.

On peut donc associer à chaque profil socio-économique un type urbain particulier, même si les DR aisés et pauvres partagent des espaces semblables. À l'inverse, 2 types urbains ne sont associés à aucun profil socio-économique particulier. Le type urbain 5 dominant a été décrit comme ne ressemblant morphologiquement pas à du bâti résidentiel, nous ne sommes donc pas surpris de ne pas y trouver de type socio-économique particulier. Le type urbain 6

<sup>66</sup> On se rappellera que le tableau croisé des effectifs, comme celui du Chi<sup>2</sup> doit se lire en ligne et en colonne. On peut donc y trouver une association forte, quasi-unique en ligne, mais plus partagée en colonne (ou le contraire).

dominant est quant à lui mal identifié morphologiquement (pas de reconnaissance aisée de la voirie, impression d'îlots denses composés de maisons agglomérées).

De cette description ressort le constat que l'espace urbain dakarois est très fragmenté socio-économiquement, et que cela se traduit dans la morphologie urbaine. Néanmoins, à cette hétérogénéité globale s'ajoute une hétérogénéité plus locale qui fait se juxtaposer des populations très pauvres à des populations plus riches. Ainsi, il est possible d'associer des profils socio-économiques à des types urbains, mais la réciproque est moins vraie.

### 1.3.2 La morphologie urbaine, un proxy des variables sociales?

Fort de cette expérience, nous aurions tendance à penser que l'étude de la morphologie urbaine de Dakar ne peut aisément remplacer des données socio-économiques à l'échelle fine. En effet, si l'association de profils issus de la télédétection à des profils socio-économiques s'est révélée efficace (et particulièrement sur les DR les plus pauvres), l'inverse (l'association d'un profil socio-économique à un type urbain dominant) ne l'a pas été autant. Il est ainsi difficile, nous l'avons déjà remarqué, de distinguer automatiquement districts aisés et districts pauvres. Ceci constitue une limite au procédé. Puisque les images satellites sont plus faciles à obtenir que les données censitaires, il aurait été intéressant de pouvoir se passer des secondes à partir de l'extrapolation issue des premières. Au-delà des limites évoquées, on peut d'ailleurs espérer améliorer le travail en utilisant de nouvelles sources de données et de nouveaux moyens de traitement. On pense en premier lieu aux apports d'autres méthodes de télédétection comme les classifications contextuelles et les analyses texturales, qui permettent de prendre en compte les structures internes des morphologies urbaines (texture, densité, taille des unités d'habitation, régularités ou désordre...) (Voir par exemple Flanders et al., 2003). On envisage aussi d'autres méthodes de traitement, notamment le recours à des classifications orientées objets (ces deux publications en donnent un bon exemple : Ebert & Kerle, 2008; Khormi & Kumar, 2011). En outre, un certain nombre de critères morphologiques peuvent être directement liés au risque de paludisme, par exemple : la promiscuité, la qualité de l'habitat,... (Ngom & Siegmund, 2010). Dans cette logique, les variables extraites de l'imagerie peuvent constituer de bons *proxies* pour qualifier l'environnement des ménages de chaque district et renseigner par exemple sur les expositions à des risques anthropiques et naturels qui seraient localisés (voir par exemple les travaux de Taubenbock et al., 2008). Elles nous seront utiles pour qualifier la vulnérabilité propre au territoire.

La télédétection et de manière plus large la géomatique, permettent ainsi d'acquérir et de représenter des données du paysage à distance, sans récolte primaire sur le terrain. Mais il est indéniable que cette méthode d'acquisition de données est plus performante dans le renseignement d'occupation du sol et la reconnaissance des éléments du paysage urbain que



dans l'information sociale des populations résidentes dans les espaces détectés. Son croisement avec les données censitaires, nous a permis de reconnaître et de renseigner des types de tissus urbains aux caractéristiques morphologiques et sociales communes. A présent, nous aimerions connaître les spécificités du paysage dans ses capacités à contenir les espèces anophéliennes vectrices de l'agent pathogène du paludisme. Nous pourrions dès lors interroger le lien qui existerait entre développement anophélien potentiel, type de tissus urbains et profil socio-économique des districts de recensement.

Pour ce faire, nous avons utilisé à nouveau des procédés classiques d'analyse d'images afin de reconnaître ces espaces privilégiés du moustique vecteur. L'idée générale a été de détecter les marqueurs paysagers qui sont étroitement liés au développement anophélien.



## CHAPITRE 5. Rechercher les paysages préférentiels du vecteur du paludisme à Dakar

---

Comme nous avons pu le souligner précédemment, les maladies vectorielles telles que le paludisme sont fortement dépendantes de l'environnement. En effet le vecteur comprend une éco-géographie particulière et les zones potentielles de contact homme-vecteur respectent un écosystème spécifique pouvant contenir et contraindre ces processus écologiques et biologiques. Dans le cas du paludisme, les connaissances issues de la littérature nous renseignent sur l'hyperlocalisation des foyers d'anophèles que l'on peut retrouver en ville. La nécessité de reconnaître les paysages préférentiels de l'anophèle (plus précisément ses lieux de ponte, c'est-à-dire les lieux de développement larvaire) nous a amené à considérer les méthodes de traitement d'images à haute résolution spatiale qui ont l'avantage de déterminer de façon plus ou moins précise certaines caractéristiques de l'environnement par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel (Machault, Pagès & Rogier, 2009). La discrimination des différents objets de l'image se fait par la lecture de l'information contenue dans ses pixels. La détection des différents écosystèmes repose sur les contrastes de réflexion et d'émission des objets au sol. L'objectif est alors de détecter sur l'agglomération dakaroise, l'ensemble des unités paysagères potentiellement impliquées dans la réalisation du complexe pathogène du paludisme.

Les études sur les déterminants environnementaux qui conditionnent la présence et l'abondance des populations vectrices sont nombreuses. Cela permet d'établir, par une lecture de la littérature autant dans le domaine des sciences humaines que des sciences médicales (entomologie, épidémiologie, médecine...), les moyens méthodologiques et techniques pour acquérir les données paysagères, entomologiques et épidémiologiques nécessaires à l'établissement de cartes d'aléa (Guernier, 2006). Dans un premier temps, les déterminants paysagers connus pour être attractifs (zones humides,...) ou répulsifs (bâti dense, ...) ébauchent une première carte des zones potentiellement épidémiogènes (estimation du risque de contact homme-vecteur). L'apport de la télédétection en santé publique présente de nombreux exemples de types d'occupation du sol (tels que les cultures, la forêt ou les surfaces en eau) pouvant être reliés à l'épidémiologie de maladies humaines (Beck et al., 2000; Rogers et al., 2002). Les paramètres environnementaux couramment extraits des images satellitales (généralement sous la forme d'indices) et potentiellement liés aux indicateurs d'occurrence de maladie ont été inventoriés (Goetz et al., 2000 ; Hay, 2000). Nous nous sommes intéressés à ceux qui ont permis d'établir des liens entre occupation du sol et données épidémiologiques, via l'identification du type d'occupation du sol associé à l'habitat connu d'un des acteurs du cycle épidémiologique (Guerra et al., 2002 ; Keating et al., 2004 ; Jacob et al., 2006). Considérant le type d'occupation du sol correspondant à l'habitat connu des espèces vectrices

présentes majoritairement sur la presqu'île du Cap Vert, nous avons cherché à dresser une cartographie des gîtes de reproduction de celles-ci.

## **1 Les particularités de l'environnement dakarois**

Une première étape dans l'analyse de l'environnement physique dakarois a été d'identifier les paysages dits "pathogènes" ou encore "épidémiologiques". Ces deux expressions, au sens similaire, font référence aux protocoles méthodologiques qui soulignent les possibilités de reconnaissance des paysages porteurs de risque épidémiologique. En d'autres termes, les paysages porteurs ou facilitateurs de la diffusion d'un ou des éléments des complexes pathogènes sont identifiés (Amat-Roze & Rémy, 1983 ; Rémy, 1988a ; Handschumacher et al., 2003). Notre intérêt a notamment porté sur les éléments paysagers qui pouvaient contenir l'espèce vectrice responsable de la transmission du parasite chez l'hôte humain. En l'absence de données suffisantes et disponibles pour qualifier le risque entomologique dans l'agglomération de Dakar, nous avons premièrement procédé à une estimation des localisations potentielles des espèces vectrices présentes dans la région. Pour ce faire, nous avons cherché à isoler les éléments paysagers qui sont préférentiellement choisis comme gîtes de reproduction des anophèles. Nous avons fonctionné en deux temps. D'abord qualitativement, nous avons délimité et identifié dans un inventaire succinct les gîtes larvaires dont la production anophélienne pouvait être conséquente. Ensuite, nous avons utilisé les principes de télédétection pour reconnaître à distance, ces différents types de gîtes catalogués.

### **1.1 Paysages pathogènes, faciès épidémiologiques et jeu d'échelles**

Dans une référence aux méthodes promulguées par l'écologie du paysage, nous avons précisé dans le chapitre 2, qu'il fallait s'enquérir des liens existants entre les environnements porteurs de « paysages pathogènes » et l'état de santé des populations, afin d'identifier des territoires à risque (Lambin et al., 2010). Or, dans le cas du paludisme, les éléments physiques qui sont mis en avant dans leur potentiel à supporter la réalisation de la transmission, se lisent différemment en fonction des échelles.

« A petite échelle, la distribution spatio-temporelle des vecteurs et de la maladie se superpose aux faciès bioclimatiques tandis qu'à une échelle plus locale, d'autres facteurs environnementaux (milieux humides, reliefs) et anthropiques (agriculture, élevage, irrigation) jouent un rôle prédominant. »

(d'après Mouchet et al., 1993 cité dans Saugeon et al., 2009, p. 69).

La classification du paludisme est au départ fondée sur ce que l'on nomme les faciès épidémiologiques. Elle est définie par un ensemble de lieux dans lesquels les conditions des transmissions, la stabilité de la maladie, la prévalence parasitaire et l'incidence des cas cliniques sont similaires (Carnevale et al., 1985). Dans cette notion de faciès sont intégrées les caractéristiques climatiques et phytogéographiques des grandes régions d'Afrique

subsaharienne par exemple (forêts, savanes, steppes, plateaux et zones montagnardes). Ce sont les faciès épidémiologiques primaires du paludisme. Il existe également des "sous catégories" dans ces grands ensembles. Elles correspondent aux facteurs secondaires de variation du paludisme ou modulateurs secondaires de l'endémie palustre et sont liées à l'environnement, du type : cours d'eau, risques naturels (cyclones...) ou à l'anthropisme : (déforestation, urbanisation, guerre et déplacement de population...). Dans ce cas précis, nous avons vu dans le premier chapitre que le paludisme urbain constituait un faciès à part entière. Les facteurs environnementaux, impliqués dans ce faciès, combinent les éléments paysagers plus naturels de la ville (végétation, plan d'eau, ....) et les espaces plus artificialisés (habitat en dur, routes bitumées, bétonisation des surfaces,...). A cette échelle, les principes de télédétection et les SIG nous fournissent des solutions dans la détermination de la distribution d'hôtes selon leurs zones d'habitat optimal (Kitron, 1998).

## 1.2 Inventaire des macro-gîtes larvaires potentiels de l'agglomération

Considérant la phase de développement aquatique de l'anophèle, nous avons ciblé la reconnaissance des espaces pouvant être préférentiellement utilisés par ces espèces comme gîtes de reproduction, soit gîtes larvaires. Nous avons centré notre recherche sur les macro-gîtes pérennes et semi-pérennes, c'est-à-dire les lieux de pontes dont les attributs (surface en eaux, zones humides et végétation) sont suffisamment conséquents pour se vérifier quasiment toute l'année et ce, indépendamment des événements météorologiques (pluviométrie, humidité de l'air, température, ....). Les anophèles présentes à Dakar, principalement issues du complexe *Anopheles Gambiae* pondent en règle générale dans de petites étendues d'eau, claires, peu profondes et peu polluées (Machault et al., 2008). Assez récemment, on suspecte également que certaines espèces arrivent tout de même à se développer dans des collections d'eau permanentes telles que les zones des Niayes souillées ou les canaux d'évacuation des eaux de pluie et eaux usées. Une adaptation physiologique du vecteur en milieu urbain n'est donc pas à exclure et a été soulignée dans la littérature (Awolola et al., 2007). En zones urbaines et périurbaines les gîtes larvaires recensés sont très variés, la majeure partie pouvant être artificielle, incluant les zones d'agriculture urbaines aménagées par l'homme, les traces des pneus des voitures dans les chemins en terre ou encore les fossés des bas-côtés (De Silva & Marshall, 2012). La traque, notamment des micro-gîtes comme c'est le cas avec les empreintes de pneus, devient un travail de précision tel, qu'une cartographie exhaustive n'est pas possible et n'aurait aucun sens. En saison des pluies par exemple, les micro-gîtes se créent et se recréent en permanence. La première question dans l'exploration de la localisation des espaces préférentiels de la métapopulation devient la suivante : jusqu'où aller dans la précision pour une cartographie des gîtes larvaires potentiels, afin d'avoir une image globale et suffisamment fidèle des zones où la présence anophélienne est la plus massive? Les anophèles ne peuvent avoir une importance épidémiologique seulement si leur densité et leur longévité sont suffisantes et leur préférence trophique ciblée sur le vertébré réservoir du parasite à transmettre. Or la saisonnalité du climat, le régime des pluies (hivernage) et la

présence d'eau de surface et de végétation conditionnent l'apparition et la persistance des gîtes larvaires d'anophèles, l'abondance des vecteurs, leur taux de survie et leur dispersion, ainsi que la durée du cycle extrinsèque du *Plasmodium* (Ceccato et al., 2005). C'est donc dans les zones humides, toute l'année ou presque, que commencent à proliférer au départ les espèces d'anophèle au début de la saison des pluies. L'hivernage favorise ensuite une diffusion anophélienne dans un nombre conséquent de micro-gîtes, qui dépendent alors des biotopes avoisinants.

La végétation est un marqueur de l'humidité des zones, tandis que les dunes, les espaces fortement soumis au vent et les chemins sablonneux de la côte nord de la presqu'île sont autant d'éléments qui rendent difficile la colonisation de ces espaces par les anophèles. En s'appuyant sur la littérature existante et notre connaissance du terrain, nous proposons un inventaire succinct des grands types de gîtes larvaires potentiels de l'agglomération de Dakar (une illustration de chacun des types est visible sur la figure 29) :

- Niayes et céanes

Au sens large, les niayes peuvent être considérées comme des paysages constitués de dunes et de dépressions inter-dunaires qui s'échelonnent le long de la Grande Côte du Sénégal. Elles sont le support d'une végétation spécifique et peuvent être inondées en permanence ou temporairement. La grande Niaye de Dakar est très tôt identifiée dans la littérature comme le gîte anophélien principal de la ville (Larivière & Abonnenc, 1956 ; Vercruysse & Jancloes, 1981). La nappe phréatique affleurante maintient une humidité tout au long de l'année. En outre, ces dépressions inter-dunaires sont le théâtre des activités maraîchères principales au sein de l'agglomération (Fall & Fall, 2001). Au cœur même des jardins maraîchers, on trouve également les puits, bassins et céanes (des trouées en forme d'entonnoir, creusées à faible profondeur et alimentées par la nappe phréatique).

- Jardins maraîchers

Situés éventuellement près des céanes et des espaces où la terre est arable, les zones maraîchères peuvent être propices au développement anophélien. Le besoin d'un système d'alimentation en eau réservé aux activités de cultures nécessite des stockages dans des bassins. Lorsque l'activité est moindre et que ces collections d'eau sont peu remuées, les gîtes larvaires sont susceptibles de s'y développer.

- Les marigots

Rencontrées dans les régions tropicales, ces petites étendues d'eau fermées sont souvent dépourvues d'eau pendant la saison sèche. Elles peuvent avoir l'apparence de zones marécageuses, d'un étang ou alors de bras d'eau d'une rivière qui se transforment progressivement en petites mares, se réduisent et disparaissent parfois.

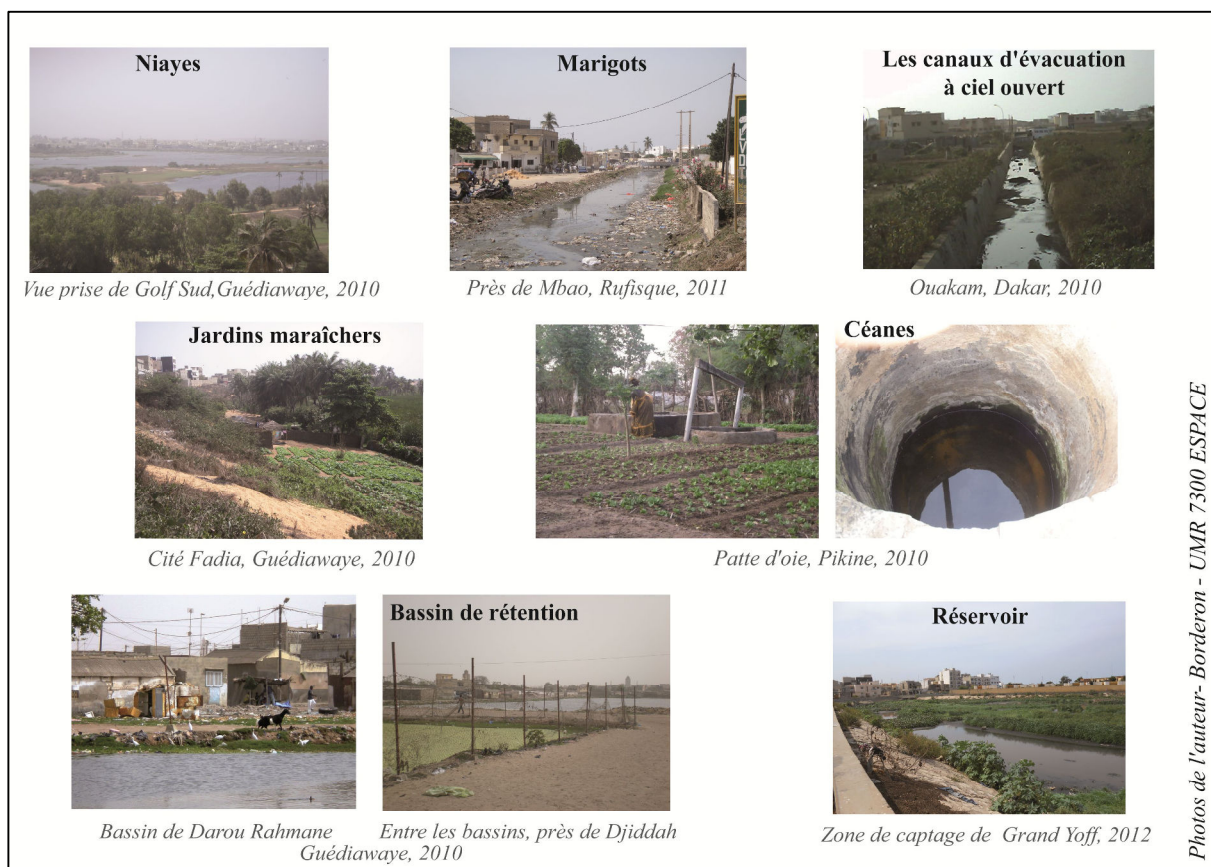
- Les bassins de rétention d'eau et les réservoirs

Pour la gestion des eaux de ruissellement, des bassins de rétention d'eau ou des réservoirs comme celui de Grand Yoff dans la zone de captage à Dakar ont été construits dans les zones de bas-fonds. Ils reçoivent les eaux de pluies mais également les eaux usées des quartiers alentour. De ce fait, l'insalubrité avoisinant ces bassins est forte et ces zones en eaux sont profondes et polluées, ce qui ne les place pas comme des gîtes de prédilection pour les espèces anophéliennes. Il est tout de même à noter, qu'aux abords des eaux profondes, de petites collections d'eau éventuellement entourées de végétation peuvent être le lieu d'une prolifération d'espèces vectrices. Le site de Grand Yoff par exemple, est présenté comme support d'une abondante faune anophélienne dans de récentes études entomologiques (Machault et al., 2009).

- Les canaux d'évacuation à ciel ouvert

Les caniveaux ou collecteurs pour l'évacuation des eaux ont pour rôle la collecte et le drainage des pluies et, par défaut, des eaux usées, afin qu'elles ne se déversent pas dans le quartier. Si le caniveau n'est pas obstrué, le courant est suffisamment important pour que les moustiques ne pondent pas. Cependant, lorsqu'ils sont à ciel ouvert, ils peuvent aisément déborder et les petites flaques d'eau stagnante aux abords chauffées par le soleil sont des gîtes larvaires idéaux. Au sein même du canal, la végétation et les ordures sont monnaie courante et l'insalubrité des eaux devrait repousser les anophèles en faveur d'autres espèces de moustiques, comme les *Culex*.

**Figure 29 : Typologie des espaces à détecter**



Enfin, un dernier type d'espace est à souligner comme porteur potentiel de macro-gîtes larvaires :

- Les zones inondables dans les espaces habités

La Région de Dakar est confrontée à des inondations récurrentes et l'urbanisation rapide et non planifiée a eu pour effet d'accentuer le phénomène par l'étendue des habitations dans les zones de bas-fonds. Cette situation conduit à un risque d'augmentation des gîtes larvaires d'*Anopheles* et à la recrudescence des cas de paludisme. Ainsi, le risque d'inondation s'est particulièrement accru depuis trois décennies.

« D'un point de vue climatique, le Sénégal a connu depuis la fin des années 60, une situation pluviométrique variable, marquée par des fluctuations interannuelles régulières et un déficit chronique des précipitations sur l'ensemble du territoire jusqu'au début des années 2000<sup>67</sup>. »

(Gouvernement de la République du Sénégal, 2010, p. 27)

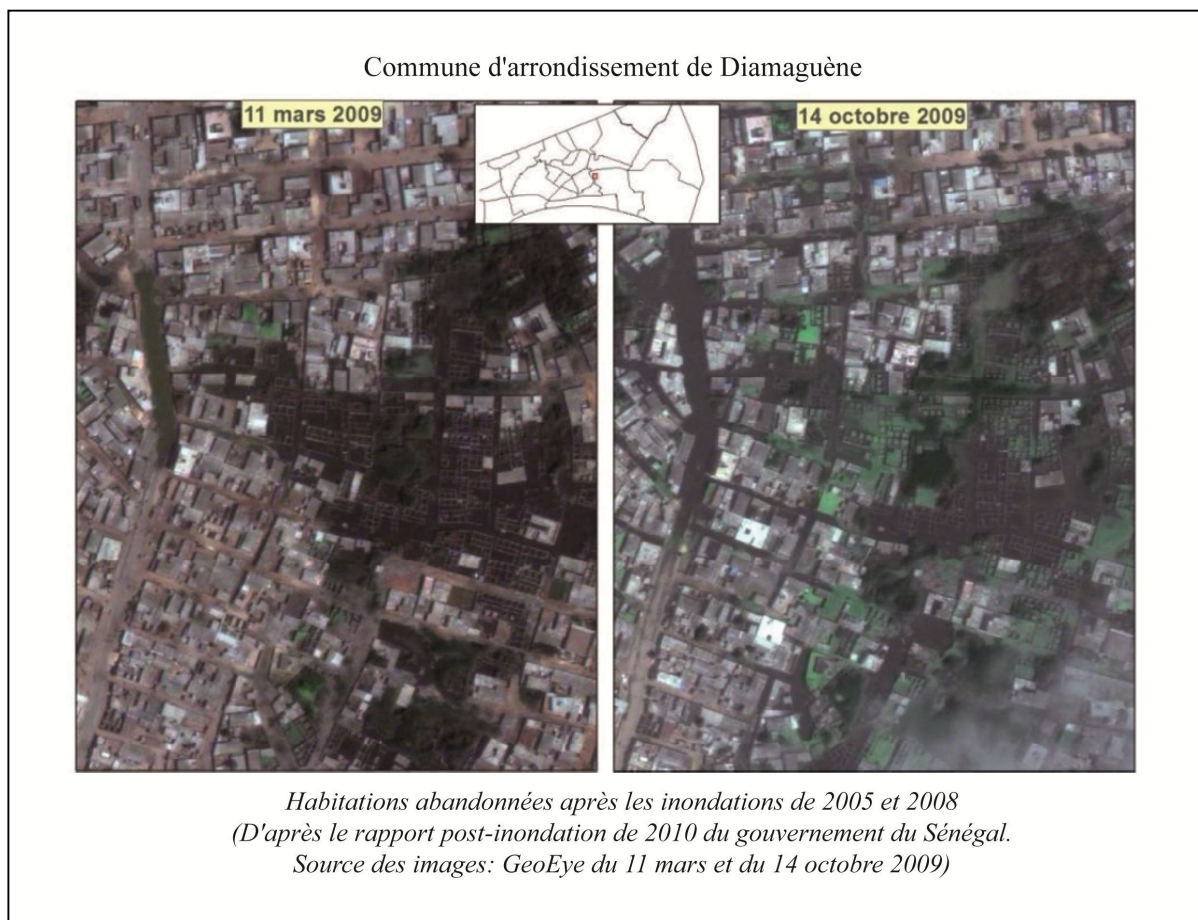
Les causes sous-jacentes des inondations récurrentes sont multiples. Elles incluent tant le cumul et l'intensité des précipitations pendant la saison des pluies, que l'insuffisance de systèmes efficaces de drainage des eaux ou encore des réseaux d'assainissement. En outre, la

<sup>67</sup> Source : ANMS - Agence Nationale de la Météorologie du Sénégal



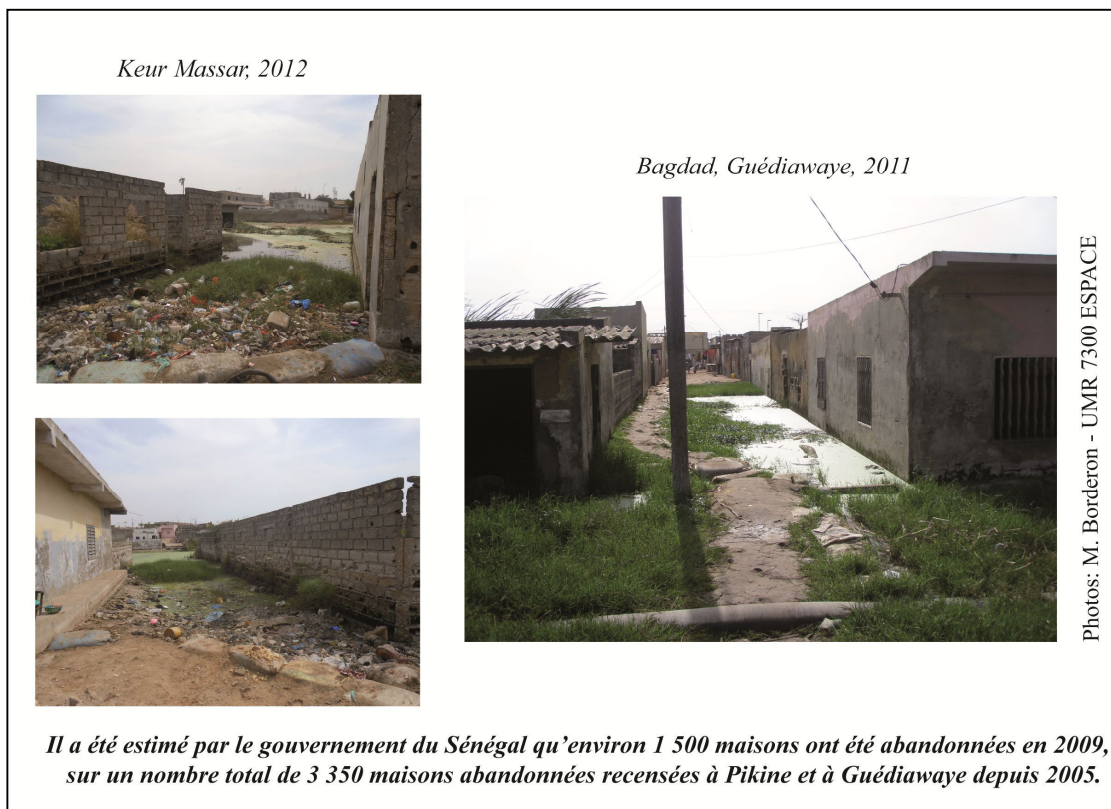
remontée des nappes phréatiques, l'installation urbaine non contrôlée et l'occupation des zones de dépression et des bas-fonds qui bloquent les axes naturels de drainage des eaux pluviales augmentent également les risques. Lors de la période de sécheresse avant les années 2000, les bas-fonds et les anciens cours d'eau, alors asséchés, ont été urbanisés (Ndiaye, 2011).

**Figure 30 : Zone basse avec maisons abandonnées**



En termes de localisation, une bonne partie de ces espaces aux potentiels épidémiologiques actifs est située dans les banlieues de Dakar (Pikine et Guédiawaye). Le front d'urbanisation, situé à l'est est également une zone qui combine espaces peuplés, zones inondables et végétalisées avec des aménagements urbains informels ou inexistants.

**Figure 31 : Des zones en eaux permanentes depuis 2005 et 2009**



Cette absence de bonne gestion urbaine, entraîne des inondations récurrentes lors de la saison humide. Le phénomène est accentué par le relief qui, généralement bas, comprend des zones de dépressions inter-dunaires plus ou moins marquées (les niayes) (Un-Habitat, 2007). Suite à l'importante inondation de 2005, le gouvernement lance le "plan Jaaxay", ayant pour objectif de reloger les sinistrés.

## **2 Des anophèles à Dakar : images satellites et indicateurs environnementaux**

Dans un premier temps, nous avons donc souhaité reconnaître les différents espaces inventoriés dans la typologie précédente. Leurs caractéristiques majeures communes sont la présence d'eau, de végétation à proximité et l'humidité de manière générale. Les indices les plus communément utilisés pour l'étude de l'épidémiologie du paludisme et des maladies à transmission vectorielle sont d'ailleurs des indicateurs de végétation (NDVI - Normal Difference Vegetation Index), de pluviométrie (CCD - Cold Cloud Duration) ou de température à la surface de la terre (Machault, Rogier & Pagès, 2009). Des liens entre image satellitaire, environnement et vecteur de la maladie sont ainsi faits et correspondent aux modèles dits géographiques. Ces modèles ont pour but de décrire la distribution des vecteurs en fonction de conditions environnementales. Leur développement a, en outre, été facilité par l'essor récent des systèmes d'information géographique (SIG), qui permettent de recueillir, stocker, analyser et restituer des données géoréférencées (Gatrell & Löytönen, 1998).

## 2.1 Modèles géographiques : présence et abondance de la faune anophélienne

Dans le but de mettre en place un modèle géographique et d'appliquer les outils de la géomatique à l'épidémiologie, les deux conditions nécessaires sont : i) que la maladie soit liée à l'environnement ii) que les éléments de l'environnement pertinents pour la maladie puissent être caractérisés par télédétection (Beck et al., 1994 ; Tran, 2004). La détection de ces environnements repose soit sur les connaissances *a priori* des écosystèmes pouvant contenir des gîtes larvaires, soit sur les résultats de modèles statistiques plus ou moins complexes. La méthode consiste à rechercher des corrélations entre la distribution des vecteurs et certains paramètres environnementaux impliqués dans leur habitat. L'inversion de la relation statistique observée, à condition de pouvoir justifier le lien vecteur/environnement, permet d'extrapoler les résultats pour obtenir des cartes de la répartition des vecteurs. Dans la littérature, il est notoire qu'il existe également des modèles dont les données mises en relation avec les paramètres environnementaux concernent non pas le vecteur mais directement la maladie (taux de prévalence, taux d'incidence) (Tran et al., 2005).

Dans la chronologie des travaux produits dans le cadre de cette recherche, nous avons en premier lieu utilisé ces connaissances *a priori*, sans mesures entomologiques. En effet, en l'absence de données entomologiques pertinentes dans le cadre du programme, c'est seulement dans un second temps, que nous avons pu améliorer et remplacer nos indicateurs ainsi formés. La disponibilité des résultats d'un programme de recherche concomitant au nôtre et leur mise à disposition dans le cadre d'une collaboration, nous a permis d'utiliser leurs modèles géographiques aboutis, appliqués au paludisme à Dakar en 2008. Ces modèles sont élaborés par la mise en relation de données de terrain issues de prospections entomologiques et des données environnementales extraites de l'image obtenue par télédétection sur des zones limitées. L'extrapolation spatiale permet de définir les niveaux de risque de présence de gîtes larvaires pour des zones plus étendues (Machault et al., 2009 ; Machault et al., 2012). Que ce soit par les connaissances *a priori* ou par la mise en relation avec des données, il s'agit de déterminer les paramètres environnementaux que nous allons utiliser.

## 2.2 Extraction des variables environnementales et distance aux gîtes

En l'absence de données entomologiques disponibles et de modèles géographiques élaborés à partir de celles-ci, nous avons choisi de présenter une alternative méthodologique possible, malgré les risques d'imprécisions qu'elle suppose. Nous avons à disposition deux images SPOT 5 de résolution spatiale de 2,5m (Programme ACTUPALU, 2008, 2010 ; distribution Spot image). Comme cela est présenté sur le site d'astrium<sup>68</sup> (qui a récemment remplacé le site spotimage), l'innovation de Spot-5 est l'introduction du Super-Mode qui permet la création d'une image à 2,5 mètres de résolution à partir de deux images à 5 mètres acquises simultanément avec un demi-pixel de décalage. Cette combinaison est réalisée par

---

<sup>68</sup> <http://www.astrium-geo.com/>

des techniques de traitement et de restauration d'image avancées. Le tableau suivant résume les métadonnées des images utilisées :

**Tableau 7 : Synthèse des métadonnées**

<i>Caractéristiques de l'image</i>	<i>Images acquisition 2008</i>	<i>Images acquisition 2010</i>
	<i>0_0- et 0_1-</i>	<i>0_0-et 0_1-</i>
<i>Numéro de l'image</i>	<i>SENEGAL_080929_T+X_020_320/5</i>	<i>SENEGAL_090511_T+X_020_320/5</i>
<i>Satellite (Capteur)</i>	<i>SPOT 5 (HRG<sup>1</sup>)</i>	
<i>Produit</i>	<i>SPOT (niveau 2A)</i>	
<i>Taille de l'image</i>	<i>29300 lignes*14855 colonnes</i>	<i>28932 lignes*14483 colonnes</i>
<i>Taille du pixel</i>	<i>2, 5m (mode multispectral)</i>	
<i>Bandes spectrales</i>	<i>0,50-0,59µm (vert), 0,61-0,68 µm (rouge), 0, 78-0, 89 µm (PIR)</i>	
<i>Projection</i>	<i>UTM WGS 84, zone 28N</i>	
<i>Date de prise de vue</i>	<i>29-09-2008</i>	<i>11-05-2010</i>
<i>Heure</i>	<i>11h42</i>	<i>11h37</i>
<i>Sun Azimuh</i>	<i>130,7</i>	<i>79,1</i>
<i>Sun elevation</i>	<i>64,2</i>	<i>68,7</i>

<sup>1</sup>HRG= Haute Résolution Géométrique

*(Nota bene : il y a deux dalles pour chaque année considérée : 0\_0 et 0\_1)*

Ces images sont donc un aperçu, une vision de l'occupation du sol à un instant t. En accord avec les autres données du programme ACTUPALU et la proximité temporelle des données du recensement, l'image prise en septembre 2008 a été prioritairement exploitée. Elle comporte cependant certaines zones cachées par les nuages. La caractérisation de l'occupation du sol sous les nuages mais aussi dans l'ombre des nuages présente un inconvénient que nous avons pallié en utilisant, dans ces endroits, les caractéristiques de l'occupation du sol de l'image de 2010<sup>69</sup>.

<sup>69</sup> Au vue de la couverture du sol que l'on cherche à détecter (les macros gîtes potentiels dans des zones humides et végétalisées toute l'année), ce type d'assemblage peut être autorisé sans risquer "d'anachronisme" gênant.

Les objets reconnus comme étant de l'eau ou de la végétation ont été détectés et extraits automatiquement par l'utilisation de la télédétection et d'un SIG. La reconnaissance s'est faite conjointement par le croisement des résultats d'une classification non supervisée et l'utilisation de l'indice NDVI<sup>70</sup>. Les informations ont ensuite été croisées par arbre de décision et binarisées :

- 1 : eau+ végétation
- 0 : autres

Les objets situés dans la première catégorie sont cartographiés en rouge sur la figure 32. Sous SIG, les espaces "zones en eaux+végétation" ont été classés comme les macro-gîtes larvaires potentiels. Afin de nettoyer l'information obtenue et d'éviter d'intégrer des petits espaces qui ne correspondraient pas à des macro-gîtes larvaires; c'est le cas des allées arborées par exemple, nous avons filtré tous les éléments dont la superficie était inférieure à 9m<sup>2</sup>. La carte suivante, synthèse de ces résultats, présente donc les sites majeurs de reproduction des vecteurs potentiels en 2008.

---

<sup>70</sup> Lecture de l'indicateur NDVI :

$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$  avec R : le rayonnement rouge et PIR : le rayonnement Proche InfraRouge

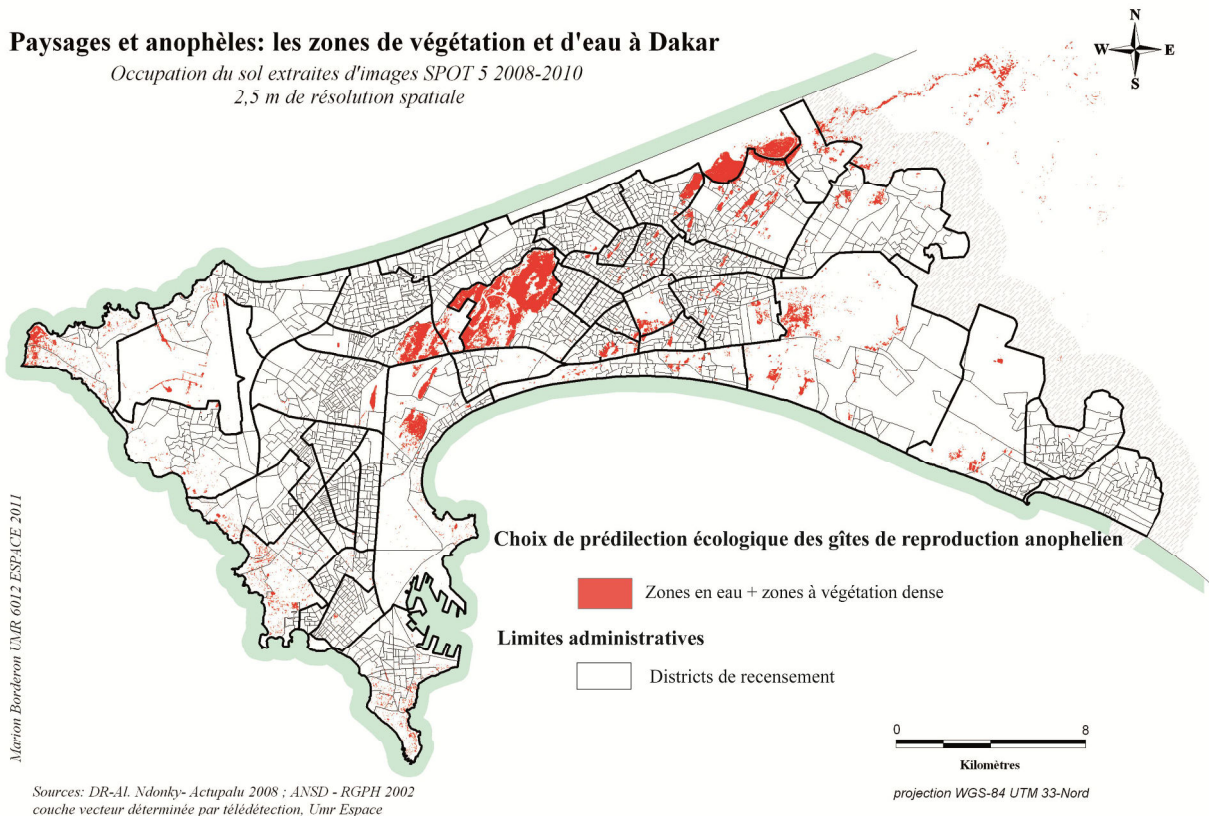
Le calcul du NDVI à partir d'une image multispectrale permet la création d'une nouvelle image dont chaque pixel contient une valeur de NDVI. Sa valeur est comprise entre -1 et +1. En pratique, bien que des seuils fixes ne puissent être définis, une valeur de NDVI comprise entre 0 et 0,2 correspond à des sols secs et dégagés et des valeurs de NDVI supérieures à 0,2 correspondent à de la végétation d'autant plus dense et active que ces valeurs augmentent. Une valeur négative ou proche de zéro peut correspondre à des zones aquatiques, à certains types de bâti ou à des zones asphaltées (routes) (Machault et al., 2009).



**Figure 32 : Les sites de reproduction potentiels de l'espèce vectrice en septembre 2008**

**Paysages et anophèles: les zones de végétation et d'eau à Dakar**

*Occupation du sol extraites d'images SPOT 5 2008-2010  
2,5 m de résolution spatiale*



Les explorations menées par télédétection, notamment les résultats des classifications supervisées et non supervisées, nous ont permis de renseigner nos unités spatiales par des informations d'occupation du sol. De manière indirecte, ces précisions écologiques permettent une première estimation des zones d'exposition aux vecteurs. Cependant, les problèmes et les défis d'utilisation de la télédétection en milieu urbain sont nombreux. Le choix de la résolution spatiale par exemple est difficile à faire. Les données sont trop grossières lorsque celles-ci ne sont pas assez fines, les données sont très précises et leurs traitements conséquents dans le cas inverse. Sans compter que l'acquisition de ces images peut être coûteuse et leur prise en main nécessite un savoir d'expert. En outre, chaque image est un aperçu de l'occupation du sol à un temps donné et il faut donc multiplier les images et les analyses pour obtenir une prise en compte temporelle des phénomènes. Dans notre cas par exemple, nous avons estimé que la reconnaissance morphologique des quartiers et des gîtes larvaires potentiels détectés était représentative de l'agglomération au-delà de la seule date des images utilisées. Le croisement notamment avec les données censitaires nous pousse à cette considération. Enfin, les techniques employées pour l'identification des objets au sol présentent une certaine marge d'erreur qu'on a calculé à l'aide du coefficient de Kappa dans le cas de la classification supervisée sur l'image de 2007. Il faut donc ajouter aux limites soulignées ci-avant, la conscience des imperfections d'ordre méthodologique et technique. Les connaissances récoltées sur les sous-espaces urbains de l'agglomération sont tout de même

notables et l'accroissement des données à l'échelle fine sur Dakar vont nous permettre d'explorer un certain nombre de facettes de la réalité épidémiologique du paludisme en ville.





### ***Des paysages vus du ciel***

*Ces premières explorations ont consisté à interroger les paysages urbains à travers les analyses d'images satellites fréquemment utilisées via la télédétection. Elles ont permis d'accroître nos connaissances sur la morphologie urbaine atypique de l'agglomération de Dakar. Résultat des conditions historiques, politiques et culturelles, nous avons vu qu'elle est le fruit d'une évolution spontanée ou planifiée par la volonté des pouvoirs publics. Six tissus urbains spécifiques, pouvant regrouper une structure et des formes d'occupation du sol ou de qualité d'habitat qui leur sont propres, ont été distingués. En outre, une dépendance entre ces tissus urbains et la typologie des inégalités de richesse produite sur les districts de recensement était notable. L'idée que les différents tissus urbains d'une ville ou d'une agglomération reflètent les conditions socio-économiques des populations n'est certes pas nouvelle. Cette logique nous permet cependant de faire l'hypothèse que ces sous-espaces conduiraient à une pluralité des situations épidémiologiques palustres en milieu urbain. Chacun, recouvrant des réalités écologiques et socio-économiques différentes, serait susceptible de créer des contextes de risque distincts. Dans le cas du paludisme urbain, nous savons justement que les densités de population et de bâti, la morphologie et la structure de la ville sont autant de facteurs qui contribuent au risque épidémique. Il est donc nécessaire à présent de rassembler d'autres données pour compléter celles-ci, afin de les combiner pour construire un modèle d'estimation des contextes à risque palustre. Ce travail effectué, nous nous interrogerons plus spécifiquement à la spatialisation du risque comme le fruit d'un aléa et d'une vulnérabilité. N'y aurait-il pas déjà une dépendance spatiale entre le développement anophélien potentiel dans la ville, les types de tissus urbains et le profil socio-économique des districts de recensement? L'aléa est-il socialement équiréparti? Nous chercherons alors à mettre en lumière et à formaliser les rapports qu'il peut exister entre les trois composantes du système pathogène, l'homme, le vecteur et le parasite. La notion de distance, doublement énoncée dans le titre de ces travaux, nous aidera à définir les logiques d'interaction entre ces trois éléments.*



## PARTIE III

# ANALYSES ET MESURES DES DISTANCES A L'INFECTION : RECONSTRUIRE LE PUZZLE EPIDEMIOLOGIQUE PALUSTRE DANS L'AGGLOMERATION DAKAROISE

## - ANALYSES A L'ECHELLE INDIVIDUELLE ET COLLECTIVE DES CIRCONSTANCES FAVORABLES AU PALUDISME-INFECTION -

*Dans l'objectif d'identification de facteurs de risque de paludisme-infection, nous proposons deux concepts qui nous semblent couvrir les processus nécessaires à la réalisation du complexe pathogène : la distance géographique et la distance sociale. La distance spatiale correspond à l'écart qui existe entre les deux acteurs clés du complexe : l'hôte et le vecteur. Dans l'équation classique du risque, il définit l'aléa, c'est-à-dire le nombre d'occurrences au cours duquel un hôte et un moustique-vecteur peuvent se rencontrer. Elle est une distance physique qui sépare l'homme des lieux de reproduction de l'anophèle. Elle peut se calculer selon une métrique euclidienne. Nous faisons l'hypothèse qu'une autre forme de distance, la distance sociale, module cette distance spatiale en permettant à l'individu d'avoir les moyens (ou non) de s'éloigner en quelque sorte du vecteur. En se protégeant des piqûres par exemple, l'individu a la possibilité de s'éloigner du danger que représente le vecteur. Nous interrogerons le lien et les interactions qui pourraient exister entre ces deux formes de distance. Pour ce faire, nous construirons tout d'abord un modèle d'estimation du risque de paludisme-infection selon les critères supposés responsables de l'épidémie, puis nous compléterons ensuite nos analyses par des données entomologiques et épidémiologiques collectées dans deux programmes de recherche ayant eu lieu, dans les mêmes temporalités, sur l'agglomération de Dakar. A travers ces nouvelles données, nous explorerons la nature de l'association entre les paysages du vecteur, les caractéristiques sociales des populations avoisinantes puis, à l'échelle individuelle, leur statut de porteur asymptomatique de parasite.*

*" Ce monde en lui-même n'est pas raisonnable, c'est tout ce qu'on peut en dire. Mais ce qui est absurde, c'est la confrontation de cet irrationnel et de ce désir éperdu de clarté dont l'appel résonne au plus profond de l'homme."*

*Albert Camus, Le mythe de Sisyphe (1942)*



## CHAPITRE 6. Le risque d'épidémie palustre "à mi-distance de la misère et du soleil"<sup>71</sup>

---

Les connaissances issues de la littérature sur le paludisme et sa transmission ont justifié le titre de notre première partie : "De la maladie des marais à celle de la pauvreté". Nous avons vu que cette maladie est à la fois une infection aux racines écologiques - par la nécessité d'une efficacité vectorielle suffisante pour transmettre les parasites, et sociales, c'est-à-dire liées à un contexte de mal développement qui limite les possibilités de maîtrise de la pandémie. Nous avons souligné en outre que les études sont peu fréquentes à l'échelle des agglomérations. Cela est notamment dû à par la complexité de travailler sur le paludisme en milieu urbain notamment dans la difficulté de disposer de moyens nécessaires, comme des données fiables, et localisées pour représenter une situation épidémiologique dans le temps et dans l'espace (Baudon & Spiegel, 2003; Hay et al., 2005; De Silva & Marshall, 2012). Si nous voulons tout de même proposer une image de la géographie du paludisme urbain, quels outils avons-nous les moyens de proposer? Le cadre international sur la gestion des risques naturels et anthropiques (UNISDR, 2005) insiste à juste titre sur la nécessité d'études locales, visant à identifier les populations vulnérables. L'objectif majeur est d'établir des programmes d'aide ciblés et d'améliorer l'équité des politiques d'intervention en cas de catastrophes comme les épidémies. Une première action a été de proposer un modèle cartographique basé sur la reconnaissance d'un gradient de risque de paludisme-infection, à l'aide des matériaux que nous avons réunis sur l'agglomération et rassemblés dans une base de données SIG. Reposant sur des indicateurs synthétiques définissant l'aléa et la vulnérabilité des populations au risque d'infection, une cartographie des foyers présumés à risque épidémique constitue un outil intéressant pour différencier *a priori* les potentialités épidémiques d'un espace densément peuplé. Construite selon une logique hypothético-déductive, cette cartographie combinant l'exposition potentielle aux piquûres et les capacités des individus à se protéger ou non de l'infection, serait un premier pas inédit vers une estimation des foyers épidémiques potentiels en milieu urbain (Fritzsche et al., 2014 ; de Sherbinin, 2014). L'utilisation de ces modèles requiert une certaine prudence compte tenu des difficultés de valider leurs résultats. En effet, ceux-ci présentent une image plutôt déterministe du risque estimé, alors qu'ils ne sont en fait qu'un scénario possible dudit risque et devrait rendre compte des incertitudes associées à chaque étape de leur construction (Mc Carthy et al., 2001 ; Kienberger & Hagenlocher, 2014). Consciente de cette précaution, chaque composante du modèle va être préalablement décrite afin de rester le plus transparent possible sur les différents choix qui ont été opérés dans la construction du modèle.

---

<sup>71</sup> Ce titre reprend une expression utilisée par Albert Camus lorsqu'il parle de son enfance dans *L'envers et l'endroit*.

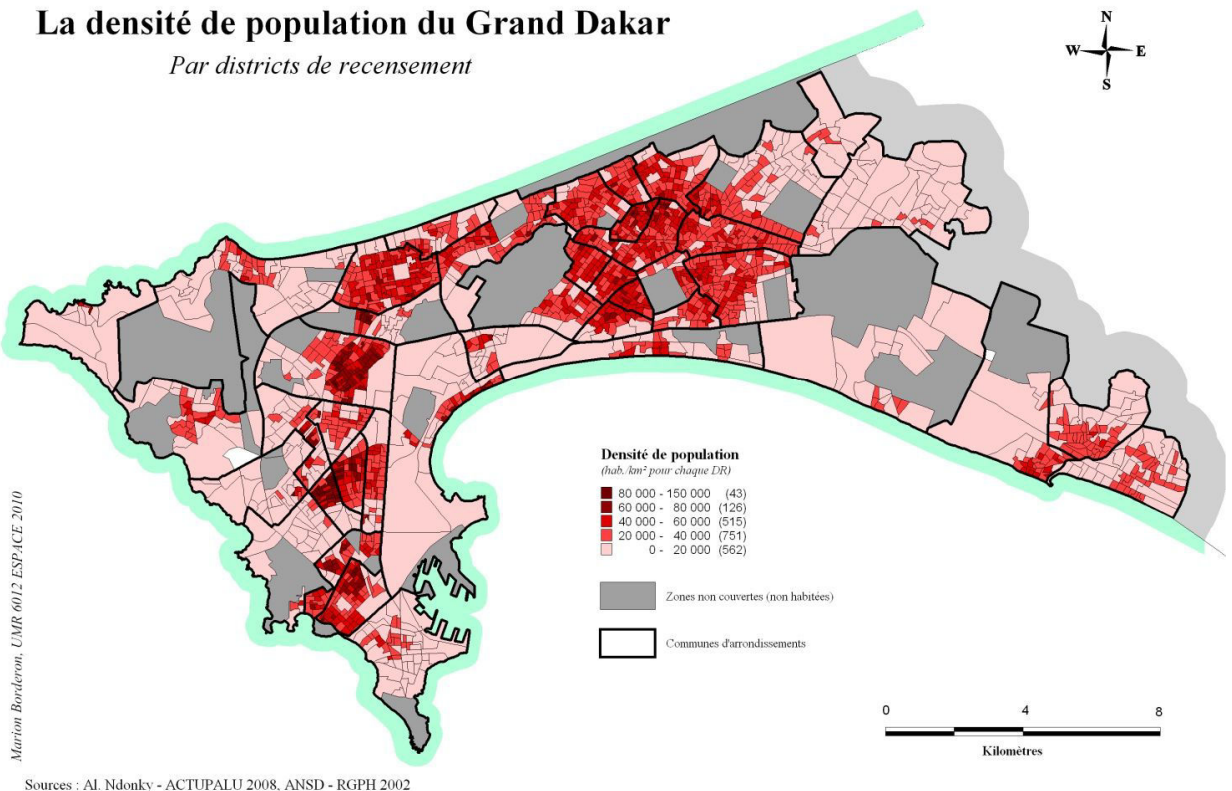
## 1 Anophélisme et densité humaine : estimation de la distance hôte-vecteur

Nous avons vu dans les premiers chapitres que la distribution de l'infection palustre dépendait de faciès épidémiologiques, dont les caractéristiques découlent majoritairement des aspects climatiques des espaces : saisonnalité, températures diurne et nocturne moyennes, pluviométrie,... (Mouchet, 1993). Cela s'explique par les besoins de certaines conditions météorologiques suffisantes pour que le vecteur survive et se reproduise. La végétation, la présence d'eau de surface à la température tiède (25°C environ) sont autant de paramètres qui déterminent les potentiels gîtes de reproduction de l'anophèle. Lors de nos travaux de reconnaissance de l'environnement urbain de l'agglomération de Dakar, nous avons cherché à reconnaître et cartographier ces macro-gîtes anophéliens. Les objets reconnus comme étant de l'eau ou de la végétation ont été détectés et extraits automatiquement par l'utilisation de la télédétection et d'un SIG, afin de pouvoir lier cette information à celle du recensement. Nous avons agrégé ces données écologiques à l'échelle du DR. Chaque DR est renseigné par le pourcentage de la superficie de gîtes potentiels qu'il contient (les zones en eau et les zones de végétation dense), et par le pourcentage de sa superficie qui est dans la zone d'action de ces gîtes larvaires potentiels. Il a fallu délimiter les zones habitées aux alentours des gîtes qui pouvaient être considérées comme exposées aux vecteurs. Pour ce faire, nous avons utilisé des tampons (*buffers*) pour mesurer la distance aux gîtes et calculer le pourcentage de superficie de chaque DR couverte par ces tampons. Le rayon de ces zones tampons a été choisi en regard de la littérature existante sur le sujet, qui rapporte la longueur moyenne du vol des espèces anophéliennes et leur dispersion en milieu urbain. Cette distance de vol fluctue en fonction du sous-genre de l'espèce, de son âge et des conditions qui lui sont exogènes comme le vent ou la proximité des hôtes disponibles pour les repas de sang ou encore des sites de pontes à proximité (Carnevale & Robert, 2009). La diversité des situations provoquée par ces conditions entraîne une variation de la distance de vol de l'anophèle pouvant aller d'environ 1 à 9 kilomètres, pour une moyenne de 3 kilomètres (Charlwood & Alecrim, 1989). Cependant, l'anophèle fonctionne selon un principe de parcimonie. La distance effectuée pour chercher un repas de sang dépend des premières rencontres opportunistes avec un hôte. La dispersion de la métapopulation est faible autour des gîtes larvaires lorsque la présence d'hôtes aux alentours est conséquente. Les distances de vols peuvent avoisiner seulement quelques centaines de mètres (Carter et al., 2000). C'est dans cette logique, que l'étude de G. Salem sur Pikine dans les années 90, met en évidence une catégorisation générale pour la ville qui définit le risque anophélien en fonction de la distance aux collections d'eaux permanentes par un seuil précis : la première, inférieure à 400 mètres, est dite de risque maximal, la deuxième, entre 400 et 600 mètres, est dite de risque second (Salem et al. 1994). Ainsi, nous appliquons une zone tampon d'un rayon de 400 mètres autour des gîtes larvaires présumés. En outre, le risque d'exposition aux piqûres d'anophèle pour l'homme est extrêmement lié à la densité de population. Dans les districts très densément peuplés, un effet de dilution des piqûres d'anophèles peut être perceptible. Cette indication vient compléter les connaissances que nous avons sur l'exposition aux vecteurs.

## 1.1 L'effet de dilution des piqûres

La densité de population doit être prise en compte en raison de son effet sur la répartition du nombre de piqûres anophéliennes potentielles par habitant. Cartographiées ci-dessous, les données censitaires nous renseignent sur la densité de population de l'agglomération.

**Figure 33 : La densité de population de l'agglomération Dakaroise en 2002**



La cartographie des données de population met en exergue les zones de la ville les plus densément peuplées que sont les quartiers est de Pikine<sup>72</sup>, près de la Grande Niaye, les Parcelles Assainies dans la commune de Guédiawaye et les quartiers résidentiels centraux de Dakar autour de Fann et de Liberté I, II, III et VI. L'hypercentre de Rufisque marque également un petit îlot de districts densément peuplés. Dans l'ensemble, il apparaît que la presqu'île est densément peuplée dans les terres tandis que le peuplement littoral est plus épars, au même titre que le front d'urbanisation à l'est de Pikine, aux alentours de la forêt de Mbao.

Cependant, cette donnée de répartition de la population est une information agrégée à l'échelle du district. Elle ne permet pas de connaître l'exacte localisation des foyers de peuplement dans la ville. L'information est moyennée sur toute la surface du district, bien que

<sup>72</sup> Pour la localisation des lieux cités dans le texte, se référer à la carte présente en annexe 1.

la population puisse se répartir très inégalement en son sein. Deux districts, à la densité similaire, peuvent représenter des réalités tout à fait différentes. Dans ce cas, l'occupation du sol et la répartition du bâti peuvent fournir des informations supplémentaires. En effet, par l'information qu'elle apporte sur la morphologie d'une ville, l'imagerie satellitale permet de distribuer spatialement les données démographiques (comme les données censitaires) produites, par exemple, selon des découpages administratifs (Dureau & Weber, 2001). Elle peut également être utilisée pour produire des estimations de densité de population, lorsque aucune donnée démographique précise n'est disponible (Linard et al., 2010). Nous avons créé une carte dasymétrique en utilisant les zones bâties reconnues par l'analyse d'image satellite et les données de répartition de population par district. Le principe de la cartographie dasymétrique est d'ajuster les densités de population humaine du district à l'espace exclusivement habité (Mennis, 2003). Les données de population sont ventilées sur les pixels reconnus comme étant du bâti (préférentiellement à vocation résidentielle)<sup>73</sup>. Cette technique permet de recalculer la densité réelle de la population (que l'on peut qualifier de densité nette) par l'exclusion des superficies contenant de la végétation, de l'eau, des sols nus et des routes. La figure 34 est l'illustration du résultat produit. En ce qui concerne les aspects techniques de la production de la carte dasymétrique, nous avons utilisé une classification non supervisée Isodata pour la reconnaissance des zones bâties/non bâties sur une image SPOT 5 de septembre 2007 à 4 bandes de 2,5 m de résolution spatiale. La classification a été paramétrée pour générer un grand nombre de classes d'utilisation du sol. Chaque pixel de l'image a été affecté par l'algorithme à une de ces classes. À la suite de ce traitement automatique, toutes les classes ont été réaffectées manuellement et par photo-interprétation à l'une des 2 classes suivantes : bâti ou non-bâti (sans autre distinction d'environnement ni de type d'urbain). L'image de sortie est une image binaire bâti/non-bâti. Le choix d'un grand nombre de classes au départ (25<sup>74</sup>) permet de limiter les confusions entre types de couvert du sol. Enfin, le calcul suivant est appliqué à tous les pixels de l'image :

$$\text{Densité Nette} = (\text{Densité dans le DR} \times \text{Surface bâti}) / \text{Surface du DR}$$

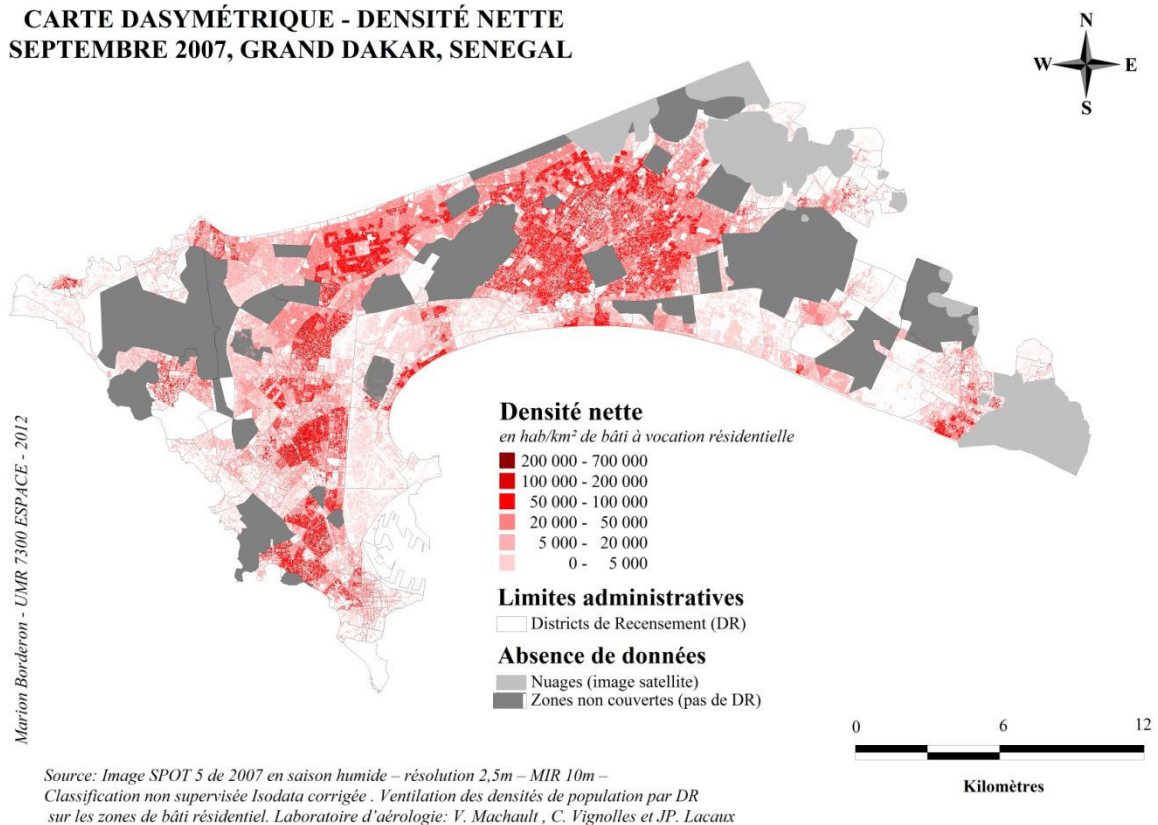
---

<sup>73</sup> Une zone bâtie ne signifie pas forcément un espace où les populations résident. Pensons aux locaux administratifs, publics, aux entreprises,... S'il n'est pas simple de distinguer uniquement les zones résidentielles, la reconnaissance de la morphologie du bâti permet parfois de diminuer le risque d'erreur dans la ventilation de population sur des espaces bâtis non habités. Les zones industrielles par exemple, sont souvent aisément reconnaissables par la taille imposante des locaux.

<sup>74</sup> Le choix s'est porté à 25, considérant la diversité des éléments à distinguer.



**Figure 34 : Les densités nettes dans l'agglomération de Dakar**



Il est admis que des imprécisions peuvent avoir été introduites en n'excluant pas systématiquement le bâti non résidentiel de la classe bâti. La classification non supervisée a été privilégiée de façon à obtenir une classification pixel à pixel. Alors que le processus de classification supervisée utilisée précédemment (voir partie II) a été orienté pour détecter différents types de quartiers et d'urbanisation, la classification pixel à pixel donne un résultat plus "morcelé" et donc plus propice à identifier uniquement les bâtiments, sans tenir compte de leur environnement très proche (routes, chemins, cours d'eau,...). Enfin, la carte dasymétrique ne peut pas renseigner sur la verticalité du bâti. Il n'est pas possible de savoir, sans information supplémentaire, si la densité de population représentée dans un espace bâti caractérise une proximité verticale ou horizontale des populations résidentes. Nous disposons donc d'une information précise en 2D sur la densité nette des populations dans chacun des districts. Celle-ci va nous permettre de pondérer la distance spatiale entre l'hôte et le vecteur. A une même distance des gîtes anophéliens potentiels, les districts où la population est dense et fortement concentrée sont des espaces où le risque d'exposition individuel est plus faible que les espaces où la densité nette est moindre. Afin d'approcher le risque de subir des piqûres potentiellement infectantes, il faut prendre en compte le croisement de l'information sur la densité nette des DR et leur profil écologique, c'est-à-dire leur superficie comprise dans une zone d'action anophélienne. Cela définit la composante "exposition" du risque de paludisme-infection. La seconde étape consiste à se focaliser sur la composante vulnérabilité.

## 2 Vulnérabilité et distance sociales au paludisme-infection : élaboration du cadre conceptuel

L'utilisation aujourd'hui massive de la notion de vulnérabilité s'accompagne d'un paradoxe. On souhaite mesurer la vulnérabilité alors qu'aucune définition ne fait consensus. Les chercheurs de l'UNU-EHS<sup>75</sup> jouent même sur les mots en intitulant leur étude « Measuring the Un-Measurable, The Challenge of Vulnerability » (Birkmann & Wisner, 2006). Sans faire une synthèse des nombreuses définitions qui existent (voir notamment Cutter, 1996 ; Birkmann, 2006 ; Turner, 2010 & Sirven, 2007), nous avons souhaité utiliser une acception large de la vulnérabilité fréquemment reprise par la communauté de chercheurs et professionnels sur la réduction des risques (Thywissen, 2006). La vulnérabilité est une fragilité préexistante de l'objet (l'individu, le ménage, le groupe, le territoire...) qui favorise la non résorption d'un aléa et provoque des pertes dues à la réalisation de celui-ci. Dans ce cas, la vulnérabilité est relative à la nature du risque et s'étudie dans le cadre formel des attributs spécifiques à l'objet qui apparaît dès lors potentiellement "à risque" ou non (Blaikie, 1994). Dans la littérature, Chambers fait valoir que la vulnérabilité a des côtés internes et externes : les gens sont exposés à un risque naturel ou social spécifique. Dans le même temps, ils possèdent différentes capacités pour faire face à leur exposition au moyen de diverses stratégies d'action (Chambers, 1989). Cela correspond bien à une autre notion qu'on retrouve dans les études sur la vulnérabilité, celle de "capacité d'adaptation" (*adaptive capacity*) (Smit & Wandel, 2006 ; Gallopin, 2006 ; Fritzsche et al., 2014). Si la sensibilité de l'individu ou du groupe est plutôt dépendante de la nature de l'aléa, les capacités d'adaptation sont le fruit de caractéristiques plus génériques. La pauvreté est, par exemple, une composante majeure qui limite les capacités d'adaptation en réduisant grandement les possibilités matérielles et financières des individus. Nous avons cherché à utiliser dans le cadre de notre étude, les caractéristiques socio-économiques génériques qui soulignent un avantage ou un désavantage des populations face au risque palustre. Nous partons du postulat que les matériaux des maisons, les ressources financières du ménage, leur niveau d'étude et leurs actifs sont autant de facteurs qui leur donnent la possibilité de se distancier du risque palustre ou, au contraire, d'y être fortement soumis. Nous avons voulu mesurer cette vulnérabilité sociale, générique à plusieurs types d'aléa. En la liant à la distance spatiale, nous l'avons appelé distance sociale dans le cas du paludisme-infection.

### 2.1 Pourquoi la distance?

Dans le cas des maladies vectorielles, particulièrement ici dans une perspective de lutte contre le paludisme, la question qu'on se pose revient finalement à celle-ci : à partir de quelle(s) distance(s) commence-t-on à être vulnérable à l'infection ? Compte tenu du caractère écologique de la maladie, la distance spatiale apporte un premier élément de

---

<sup>75</sup> <http://www.ehs.unu.edu/>. Le sigle, représentant une institution universitaire des nations unies, signifie : Environment Human Security - United Nations University

réponse. Une distance suffisamment grande de l'individu avec les populations vectrices est un moyen évident de ne pas subir de piqûres infectantes. La réponse est cependant incomplète. A distance égale, les individus n'ont pas les mêmes probabilités d'être infectés. Ils n'ont pas les mêmes risques d'être atteints par la pique infectante ni d'en subir les conséquences. La faible distance spatiale, qui signifie la possibilité d'une rencontre entre un hôte et un vecteur infecté, devient une condition nécessaire mais non suffisante au risque de paludisme. Cette dernière est modulée par la distance sociale. Les attributs sociaux des objets mis à distance vont directement influencer sur la perception et le franchissement même de cette distance. Si l'on s'en tient d'abord à la terminologie du nom "distance", on perçoit déjà qu'il existe de multiples manières de l'exprimer (De Smith, 2003 ; Clifford et al., 2008). La définition euclidienne de la distance, soit la mesure du chemin le plus court entre deux points (c'est-à-dire la ligne droite), n'est qu'un exemple parmi d'autre. Dans un espace dit "relatif", à l'opposé de l'espace tridimensionnel euclidien, de nombreuses autres mesures de distance ont été développées telles que la distance-temps, la distance-coût, la distance perçue,... et également la distance sociale (Unwin, 1992). D'ailleurs, R. Brunet nous rappelle que ces développements sont déjà anciens :

« Il y a déjà bien longtemps que les géographes ont travaillé sur autre chose que des distances vulgaires, simplement exprimées en unités de mesure linéaires d'un point à un autre, et qu'avec une nuance de mépris l'on nomme euclidiennes pour faire savant. »

(Brunet, 2009, p. 14)

Entre deux points, deux objets, deux lieux, deux espèces humaines, animales il y a donc une séparation qui peut s'exprimer par une multitude de distances. Dans le cas des risques de diffusion épidémiques, il est fréquent de considérer que la proximité est souvent associée à des phénomènes d'imitation et de contagion. Or, cette proximité ne signifie pas spécifiquement une distance courte entre deux lieux. La lecture réticulaire de l'espace mondialisé en est un exemple-phare. Il est établi depuis longtemps déjà que la distance physique n'est qu'un élément, parfois secondaire, de la propagation (Saint-Julien, 1985).

Dans le cas du paludisme, la distance sociale complète de manière essentielle la distance physique ou spatiale entre l'hôte et son vecteur, lui-même distant d'un hôte infecté. A niveau social différent, il semble peu probable que le risque d'infection soit le même pour des individus dont les habitats seraient à une même distance des gîtes anophéliens. La structure et les matériaux de l'habitat dans lequel l'hôte réside, son comportement, les moyens dont il fait preuve pour se protéger des piqûres, sa représentation du risque de contracter une maladie vectorielle, sa susceptibilité génétique à l'infection, modulent en conséquence l'impact de sa seule distance spatiale au risque palustre (Sachs & Malaney, 2002 ; Obrist, 2006 ; De Silva & Marshall, 2012 ; Diallo et al., 2012a).

Deux dimensions sont fondamentales dans la distance au risque de paludisme-infection : la localisation dans l'espace des éléments "distants", c'est-à-dire séparés, et leur degré d'accessibilité. Chacun de ces aspects peut être notamment considéré comme le fruit des effets du social sur la distance. Le territoire, en tant que construit humain, est une projection des rapports sociaux entre les hommes. La structuration géographique est ainsi, aux yeux de nombreux observateurs, une curiosité cartographique qui masque de vrais déterminants sociaux sous-jacents (Guilmoto, 2008). Les logiques foncières par exemple imposent aux groupes humains de se situer dans l'espace en fonction de fortes contraintes socio-économiques (Pelling, 2003). En outre, l'influence du voisinage a un effet majeur sur l'effet d'une distance entre un objet A et un objet B (Pumain & Saint-Julien, 2001 et 2004). Ce qui les sépare n'est pas seulement une distance linéaire à parcourir mais des degrés de voisinage qui peuvent contenir des formes, des obstacles, des rugosités ou au contraire des accointances qui les rendront plus ou moins poreux à la diffusion d'un phénomène par exemple. La localisation est donc prédéterminée par les moyens de l'individu de choisir tel ou tel lieu de résidence. Les caractéristiques de son voisinage pourraient également prédéterminer le risque de diffusion épidémique selon qu'il est entouré d'hôtes porteurs du parasite ou non. Cette connaissance de la localisation (plus généralement des trajectoires) et de la contiguïté (comme les proches voisins) sont primordiales pour caractériser la vulnérabilité d'un individu au risque de paludisme-infection. En ce qui concerne l'accessibilité entre le vecteur et l'hôte, elle indique une vulnérabilité forte lorsqu'elle est bonne. Au contraire, le fait d'être inaccessible, soit de faire l'écart entre le moustique infecté et soi, ou, à défaut, de limiter les possibilités ou les conséquences d'une piqûre infectante, est synonyme d'une faible vulnérabilité. Puisque cette vulnérabilité sociale traduit une possibilité de mettre des obstacles, des séparations plus ou moins infranchissables, elle est bien une distance. La climatisation, les moustiquaires imprégnées sont des exemples des barrières qui peuvent être utilisées.

Ainsi, nous parlons plutôt de vulnérabilité sociale des populations et des territoires dans le cas où nous évaluons, par la création d'une typologie ou dans la création d'un indice du niveau de vie des ménages, une vulnérabilité générique sans la lier à un phénomène en particulier. Lorsque nous utilisons ces informations dans le cadre de la vulnérabilité au paludisme, celle-ci devient donc relative à l'infection et nous parlons de distance sociale, expression qui souligne bien les hypothèses que nous faisons sur les effets du social dans la transmission palustre. Enfin, le lien très étroit entre cette vulnérabilité sociale, générique à de nombreux phénomènes, et la pauvreté mérite d'être discuté. L'encart suivant propose un parallèle entre les deux. En effet, la pauvreté s'impose fréquemment comme la pierre angulaire de la vulnérabilité sociale. La prise en compte du caractère multidimensionnel de la pauvreté peut donc constituer l'objectif préliminaire d'une analyse de la vulnérabilité sociale. Ce sont ensuite les déterminants de la pauvreté qui sont supposés être associés au risque étudié, qui orienteront les facteurs à retenir pour mesurer une vulnérabilité sociale à un phénomène précis.

### **Encadré 8 : Les liens entre vulnérabilité sociale et pauvreté**

Selon l'acception choisie de la vulnérabilité présentée au préalable (qu'elle soit financière, associée à un risque donné comme dans le cas d'un risque sismique, soit d'une vulnérabilité relative aux tremblements de terre par exemple), le lien entre la pauvreté et la vulnérabilité change de nature. Dans des perspectives économiques, la vulnérabilité est directement spécifiée comme un risque de devenir pauvre et éventuellement passer sous le seuil de pauvreté (Sirven, 2007). Dans une perspective plus générale, la vulnérabilité qualifie la probabilité de voir sa situation se dégrader et éventuellement se paupériser. La notion de vulnérabilité fait référence à l'incapacité de résister aux effets d'un environnement hostile. Il s'agit de mesurer ces (in)capacités ou ce qui y mène, afin de connaître le gradient potentiel de risque des populations exposées à des risques naturels ou anthropiques. Les moyens dont les populations disposent, que ce soit en termes d'actifs, de biens immatériels comme l'éducation et la santé ou en terme d'intégration dans la société, sont autant de paramètres qui contribuent à la vulnérabilité de l'individu, du ménage ou encore du groupe auquel il appartient. De manière générale, le concept de vulnérabilité sociale est intrinsèquement lié au risque de fragilisation auquel est exposé l'individu ou le collectif et dont la concrétisation potentielle serait l'exclusion sociale (Bankoff et al., 2004). Cette fragilisation que nous allons quantifier est donc décrite en grande partie par le profil socio-économique des populations et leur degré de richesse. Les questionnements méthodologiques inhérents à cette quantification sont alors très proches de ceux associés à la mesure de la pauvreté dite objective (Fleurbacay et al., 1998). Si l'on en revient au préalable à la mesure de la pauvreté, on peut citer les travaux d'A. Sen dans les années 80 qui marquent un tournant dans le domaine et modifient les perspectives d'approche. Comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre précédent lors de l'analyse des caractéristiques socio-économiques des habitants, la pauvreté n'est plus considérée sous l'angle unique et réducteur des revenus et les approches à l'échelle de l'individu et du ménage sont souvent complétées par des analyses à une échelle plus agrégée : groupes sociaux, ethniques, ou unités spatiales quelles qu'elles soient. Concernant ces approches agrégées, certaines questions reviennent d'ailleurs toujours en filigrane : les unités d'agrégats, spatiales par exemple, ne sont-elles qu'une somme des vulnérabilités de chaque individu ou forment-elles plus que la somme des parties ? Dans quelle mesure y a-t-il transfert des caractères vulnérables des individus au territoire et réciproquement ? C'est sur ces questions que nous souhaitons également axer nos analyses.

## **2.2 Du concept à la mesure : comment caractériser les groupes ou territoires supports de populations vulnérables**

Afin de mesurer la vulnérabilité sociale de l'agglomération de Dakar, nous nous sommes inspirée de la méthode de création du SoVI®<sup>76</sup> (voir notamment Cutter et al., 2003). L'idée

<sup>76</sup> SoVI : Social Vulnerability Index. <http://webra.cas.sc.edu/hvri/products/sovi.aspx>

est de construire un indicateur de vulnérabilité sociale à l'échelle des districts de recensement à l'aide, dans un premier temps, des données censitaires. Ces données comprennent 160 variables qui sont divisées en cinq grandes catégories et 17 sous-catégories. Ces cinq grands groupes intègrent les catégories classiques de la littérature pour caractériser la vulnérabilité sociale des ménages<sup>77</sup>. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) s'est imposée car elle permet de traiter un nombre important de variables sans établir de choix *a priori* des variables discriminantes par degré d'importance. De plus, l'ensemble des individus de la population statistique ne présentant pas de fortes dissemblances, cela renforce la méthode. Le résumé de l'information a été produit en deux temps. Des ACP ont été réalisées sur chacune des 17 catégories présentant une cohérence thématique et cela a permis d'analyser par sous-groupes les réductions opérées afin de conserver une approche experte, c'est-à-dire conserver la connaissance humaine à chaque pas de temps de la méthode exploratoire. Pour chacun de ces groupes, une ACP a donc permis d'extraire une (ou deux) variable(s) synthétique(s) résumant l'information de chaque groupe (les deux premiers axes de la factorisation). Enfin, une ACP a été réalisée sur l'ensemble des facteurs ainsi retenus pour construire un plan factoriel. Ce plan factoriel a ensuite servi de base pour opérer une classification des DR. Si la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est connue et performante, il a été préféré ici une classification à partir de nuées dynamiques (*k-means*). Une analyse comparative de ces deux méthodes a néanmoins été réalisée et les résultats produits sont proches (Oliveau et al., 2009). Par la suite, la distance de chaque DR au centre de la classe créée a été considérée, revenant à prendre en compte la qualité de représentation de chaque DR vis-à-vis du type auquel il se réfère.

Cinq classes sont ressorties de l'analyse :

Type 1 : 307 DR, situés en majorité dans la commune de Dakar.

Type 2 : 274 DR, situés en majorité dans la commune de Dakar.

Type 3 : 335 DR que l'on retrouve regroupés à divers endroits.

Type 4 : 528 DR que l'on retrouve regroupés à divers endroits dans l'agglomération, et de façon marquée à l'ouest de Pikine.

Type 5 : 526 DR que l'on retrouve regroupés à divers endroits dans l'agglomération, et de façon marquée à l'est.

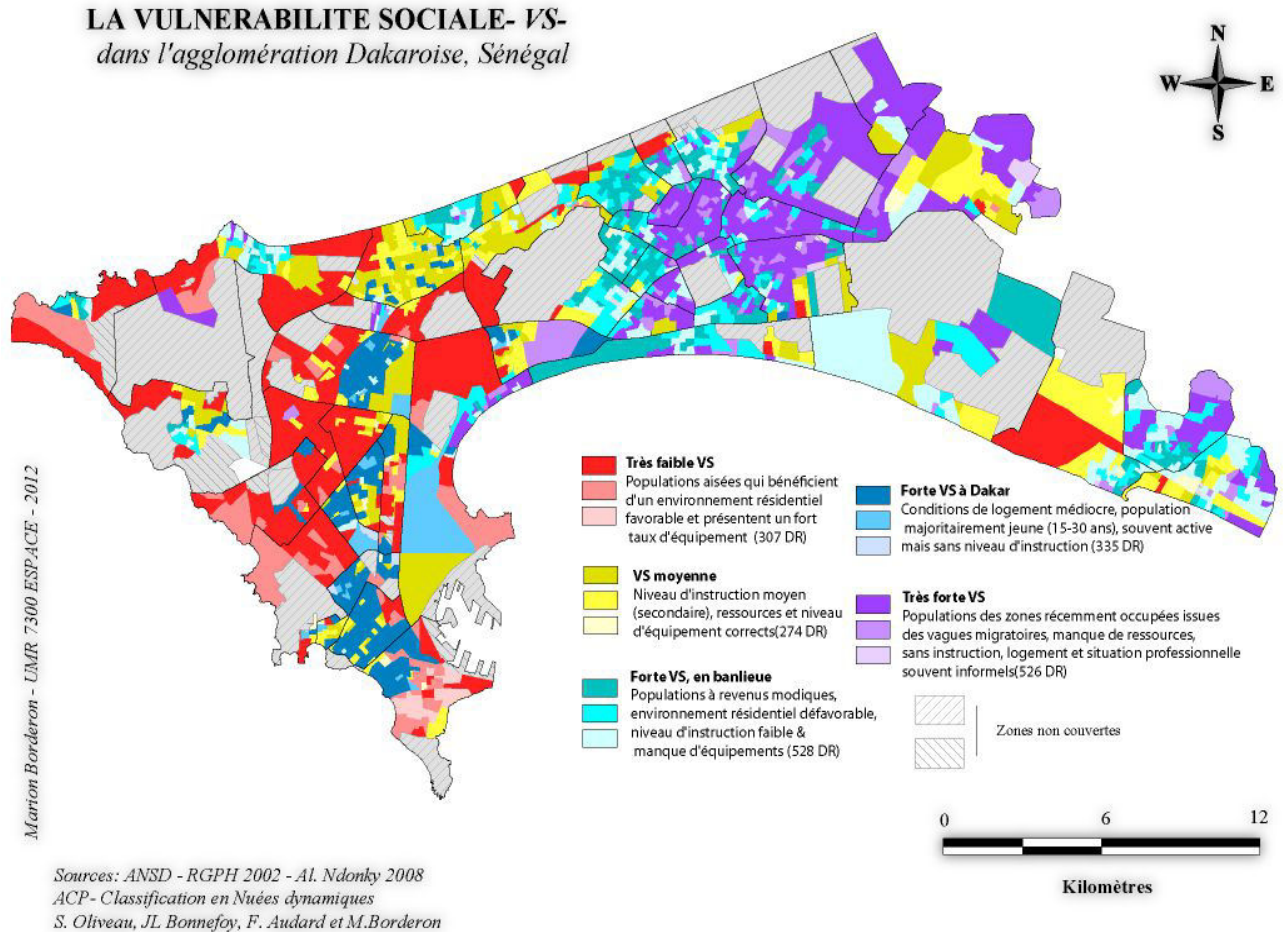
Ces résultats sont cartographiés en figure 35, les classes sont qualifiées par 5 couleurs différentes tandis que la distance de l'individu à sa classe est renseignée par sa teinte plus ou

---

<sup>77</sup> Elles comprennent : la structure démographique de la population (par exemple, l'âge, le sexe ratio, la taille du ménage), la qualité des logements (les matériaux de construction, le type de logement, le nombre de chambres, le nombre de personnes par ménage et concession), les équipements (qu'ils soient privés mais aussi publics, les biens électroménagers, le système de drainage pour les eaux usées, l'électricité, les ramassage d'ordures, les latrines de qualité) éducation (le niveau d'éducation, les langues pratiquées), et le statut social (l'activité du chef de ménage, le statut d'occupation, le statut marital).

moins claire. Lorsque l'individu statistique est proche du centre de gravité de sa catégorie, la couleur est foncée. *A contrario*, les individus en marge de la classe prennent une teinte claire.

**Figure 35 : Mesure de la vulnérabilité sociale à Dakar**



La cartographie de cette vulnérabilité sociale fait déjà ressortir les limites entre Dakar et les autres communes. La commune de Dakar, bien qu'hétérogène, comprend le plus de DR où la vulnérabilité sociale est faible. Les profils des ménages avec une faible Vulnérabilité Sociale (VS) sont notamment les mieux équipés (surreprésentation de la climatisation et de l'automobile), ont un taux d'activité plus élevé, et vivent dans des appartements qui ne leur appartiennent pas<sup>78</sup>. En revanche, à l'est, particulièrement en direction de Pikine et du front d'urbanisation, la situation est beaucoup plus problématique. La structure des données est en outre intéressante : les profils de vulnérabilité sociale se scindent entre Dakar et "sa banlieue",

<sup>78</sup>Dans une ville comme Dakar, vivre dans un appartement est un marqueur social (hyper centralité de la résidence), souvent associé à sa fonction : l'hébergement par l'employeur. Si la propriété évite en partie la pauvreté, il ne signifie pas toujours un signe de richesse. L'article de Didier Fassin, "Analyser. Variables et questions" publié dans l'ouvrage *Sociétés, développement et santé*, résume bien les enjeux liés à la mesure du degré de richesse de population. Les marqueurs de richesse peuvent varier fortement selon le contexte. Les différents groupes sociaux sénégalais, par exemple, n'investissent pas leurs moyens de la même façon.

notamment Pikine et Guédiawaye. La précarité est importante dans les deux cas mais n'a pas les mêmes manifestations.

Les populations les plus vulnérables (très haute VS) sont caractérisées par un manque fort d'équipement. La population est essentiellement jeune (entre 18 et 35 ans) et la majeure partie est mariée. Les infrastructures de base (eau, électricité) sont absentes chez plus de 30% des ménages et moins de 10% bénéficient d'un service de ramassage des ordures. Ces personnes, qui dans 90% des cas ont un niveau d'étude ne dépassant pas l'école primaire, sont venues principalement de migrations récentes et se sont installées là où elles pouvaient dans des conditions précaires. Pour les profils élevés de VS, la situation est quelque peu différente, mais aussi historiquement construite. La différence entre le profil élevé de VS dans la ville de Dakar et le profil de la banlieue (reprenant les districts de recensement à l'est de la ville) repose principalement sur l'accès à l'emploi et les aménagements urbains. Dans les banlieues et surtout à Pikine l'ancien, les installations sont souvent désuètes et les conditions de vie se sont détériorées au cours des dernières années. Concernant les zones pauvres du centre-ville, la population vit le plus souvent dans des logements précaires (10% dans une cabane en bois), sans réseau d'adduction d'eau ni électricité. Les niveaux d'éducation sont faibles. Le nombre de personnes par concession est élevé, mais la population plutôt jeune bénéficie de la proximité du centre-ville. Professionnellement, la plupart des gens sont "indépendants", contractant quelques petits travaux formels et informels.

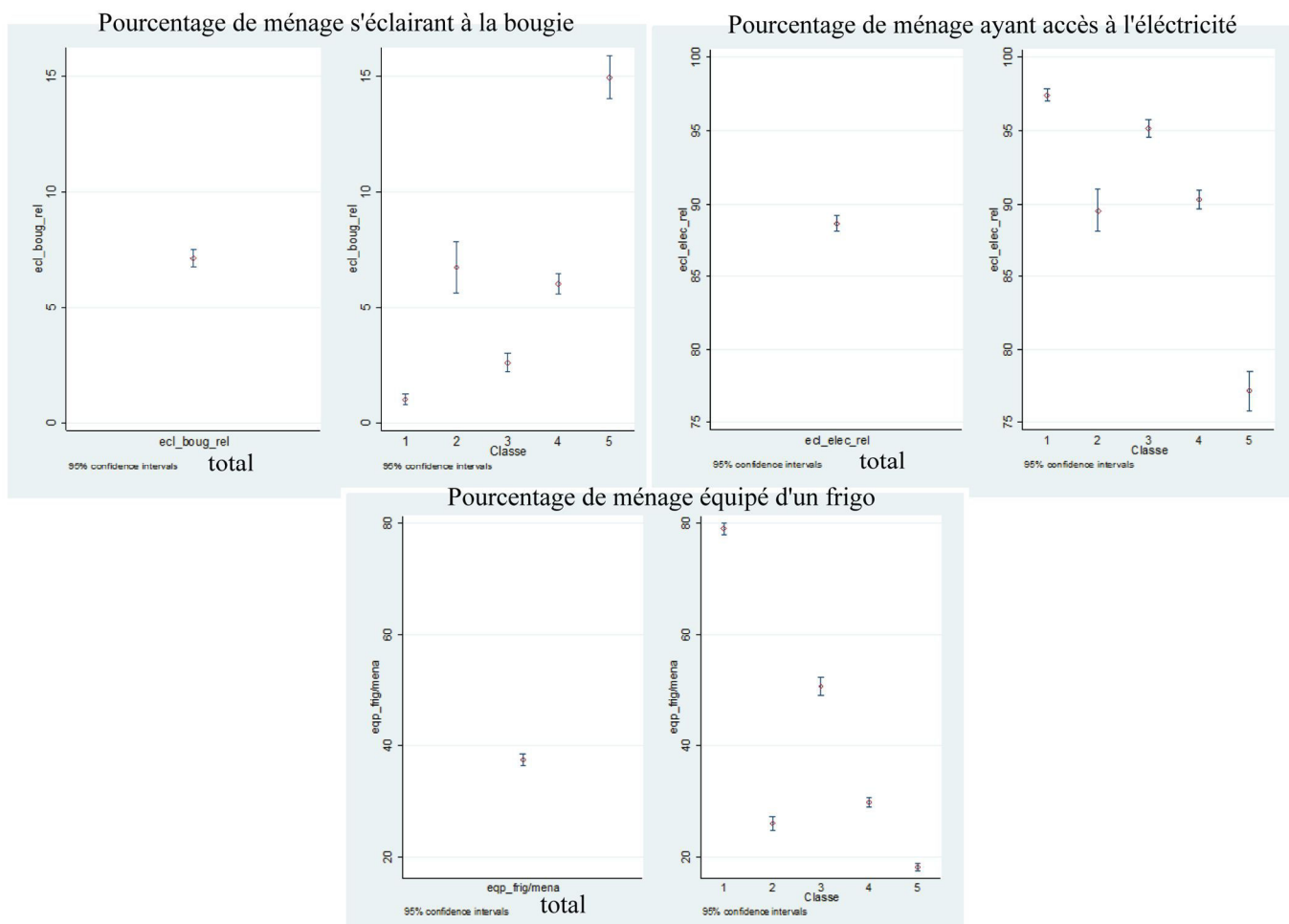
Enfin, la catégorie moyenne représente une vulnérabilité sociale médiocre. Le niveau d'instruction n'est pas faible, presque une personne sur deux est active et a un emploi mais sans statut social élevé et les ressources semblent suffisantes bien qu'aucune certitude ne garantisse leur pérennité. Nous pouvons finalement remarquer, qu'il existe dans cette partie de la région de Dakar, trois types de vulnérabilités sociales "hautes" et chacune a sa propre géographie. Ces profils de classe correspondent à la connaissance empirique que nous avons de Dakar (fondée sur le travail de terrain qui a été fait chaque année depuis 2008) ainsi que sur les résultats obtenus par d'autres travaux sur la ville (notamment Ndonky, 2011) et d'autres enquêtes plus spécifiques sur la pauvreté (ANSD, 2007 ; Minvielle, et al., 2005).

D'un point de vue méthodologique, afin de faciliter la lecture et l'interprétation des catégories élaborées par la classification en nuées dynamiques, des graphiques représentant chacun des 160 indicateurs et leur distribution dans les 5 classes ont été reconstruits. Ils permettent de souligner individuellement quelles sont les variables au pouvoir le plus descriptif de chaque classe et d'écarter les plus confuses, par exemple celles où les intervalles de confiances se superposent. Les graphiques suivants illustrent le procédé suivi et présente bien la hiérarchie dans la vulnérabilité sociale entre les différentes classes. Les classes 1 et 5 (très faible et très forte VS) sont en permanente opposition et représentent les extremums de chacune des moyennes des indicateurs par classe. La classe 3 de forte VS en banlieue présente des valeurs moins extrêmes que la classe 1 mais s'en approche. Enfin, les classes 2 et 4,



respectivement la VS moyenne et celle, plus forte que la précédente, mais dans la commune de Dakar, forment le noyau moyen de la plupart des indicateurs.

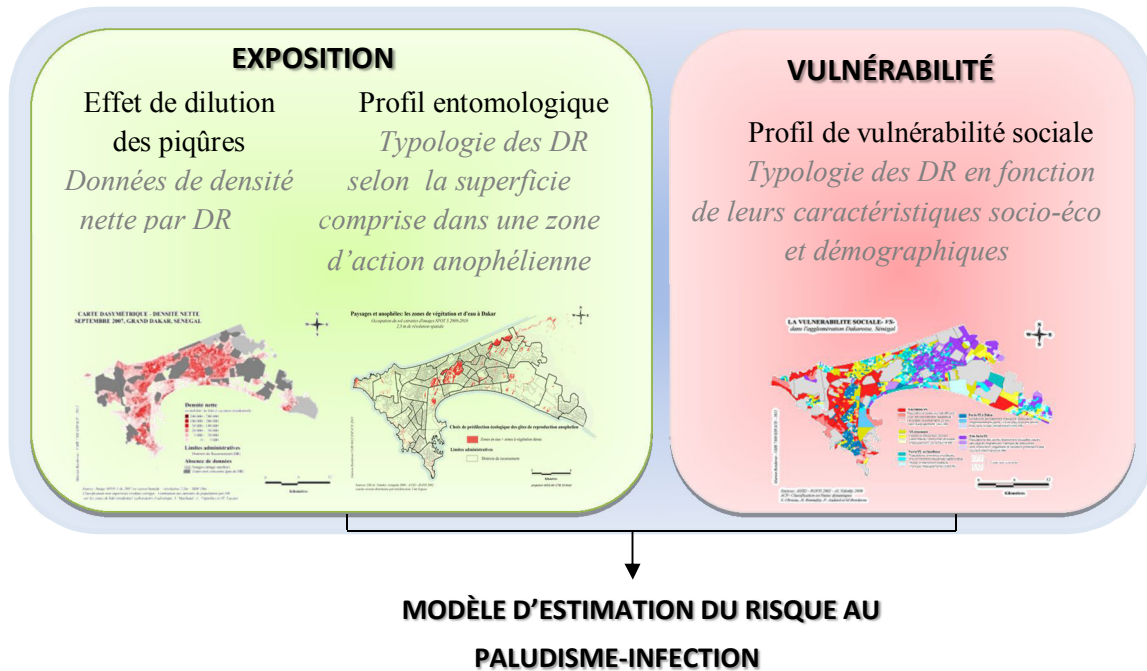
**Figure 36 : Comparaison de moyenne par catégorie de VS de trois variables censitaires**



### 3 Un premier modèle cartographique des foyers à risque épidémique potentiel à Dakar

Nous bénéficions à présent de trois informations construites sur l'agglomération de Dakar : la superficie des gîtes anophéliens potentiels et leur zone d'action par DR, la densité nette et le profil de vulnérabilité sociale de chacun des DR. Croiser ces trois éléments constitutifs d'une vulnérabilité au risque de paludisme-infection de chacune des unités géographiques considérées nous permet de proposer un premier modèle d'estimation des zones de paludisme infection dans l'agglomération. La construction de la typologie du modèle cartographique suit la combinaison suivante :

**Figure 37 : Détails des éléments combinés pour l'estimation de la vulnérabilité au paludisme-infection**

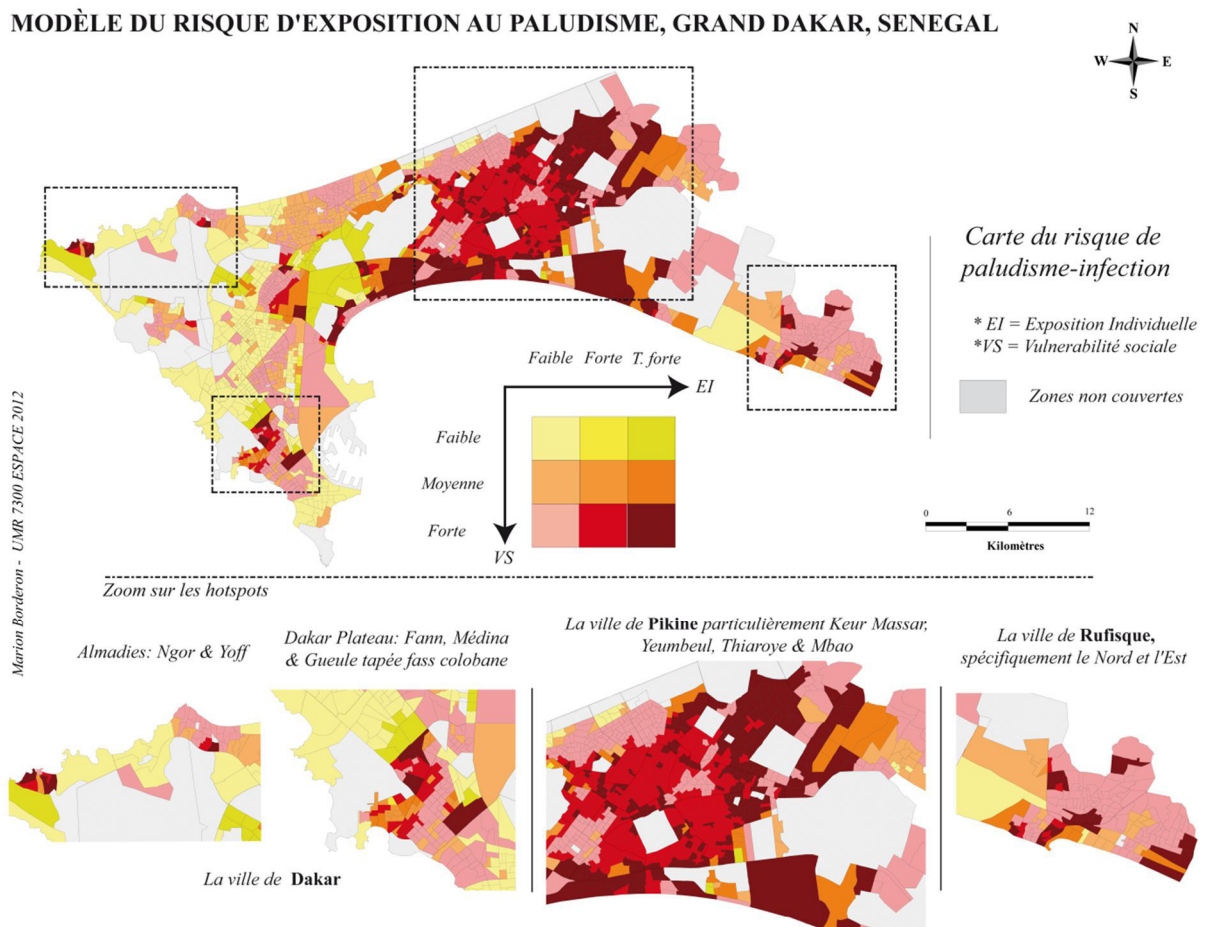


L'exposition est fonction de la proximité des sites de reproduction, c'est-à-dire ici le pourcentage de surface du DR recouverte par la zone d'action potentielle des moustiques-vecteurs. Ce calcul de densité nette est en effet ajouté afin de relativiser le phénomène de dilution des piqûres. Plus le district est peuplé, plus l'exposition individuelle s'amenuise. Pour ce qui est des aspects sociaux de la vulnérabilité, les résultats de la typologie de vulnérabilité sociale sont utiles pour caractériser la susceptibilité des DR à l'exposition. Les résultats finaux sont disponibles par le biais d'un modèle cartographique en figure 38. La combinaison de ces indicateurs produit neuf combinaisons différentes de risque d'exposition au paludisme. La vulnérabilité écologique (la proximité des sites de reproduction) et l'effet de dilution des piqûres (la densité nette) vont dans la même direction et forment l'exposition individuelle. L'exposition est divisée en trois situations : négligeable (le DR n'est pas dans la zone d'action des gîtes larvaires), élevée (site à proximité de gîtes mais densité élevée de la population) et très élevée (proximité avec densité nette faible). Aucune connaissance n'étant précisée dans la littérature sur le seuil de dilution des piqûres, la valeur médiane de la variable de densité nette a été utilisée comme déterminant le seuil de la typologie : faible densité/forte densité. Si ce choix arbitraire induit des limites et sépare inévitablement des DR dont les valeurs de densité nette peuvent être très proches et recouvrir un effet plus ou moins identique, il a été souligné qu'en l'absence de solution plus adaptée, c'était un moyen d'utilisation *a priori* de cette information. L'interprétation des catégories nécessite une conscience de ces limites. La vulnérabilité sociale, elle, est recalculée en trois catégories. En effet, il a été justifié de la réduire également en trois catégories de vulnérabilité pour une meilleure lisibilité du modèle.

La catégorie de faible vulnérabilité s'oppose à celle de haute et très haute vulnérabilité, qui forment chacune une catégorie, tandis que la vulnérabilité dite moyenne constitue le type intermédiaire.

La carte finale permet d'identifier les lieux où la circulation du parasite pourrait être forte et causer une épidémie si des programmes de gestion des risques ne les ciblent pas. Plus généralement, elle illustre graphiquement la variation géographique potentielle de la vulnérabilité au paludisme-infection dans l'agglomération.

**Figure 38 : Modèle du risque d'exposition au paludisme urbain à Dakar**



Dans l'analyse du modèle, nous pouvons identifier quatre points chauds, foyers potentiels de départ d'épidémie palustre. Leurs positions ne sont guère surprenantes et correspondent aux districts qui avaient subi de graves inondations en 2005 et 2008 et qui sont encore en partie sous l'eau. Les populations résidentes sont parmi les plus pauvres et l'habitat de ces zones est largement informel. La séparation de Dakar, bien que présentant un risque hétérogène, et les banlieues de Pikine et Guédiawaye sont bien visibles sur la carte. Ces commentaires sont en adéquation avec la conclusion d'une récente thèse à propos du fonctionnement à deux vitesses de l'agglomération de Dakar (Ndonky, 2011). Le front d'urbanisation à l'est correspond en outre à des zones à risque. La situation précaire des habitants et l'absence de fortes densités accentuent les possibilités de rencontre entre les

moustiques et les hommes. Ces zones laissent en effet la place à des parcelles plus ou moins végétalisées qui sont, par conséquent, intéressantes pour les anophèles. *A contrario*, les zones fortement urbanisées ont un effet protecteur.

Les zones urbaines, en particulier les villes avec leurs grandes zones péri-urbaines, favorisent l'accumulation de vulnérabilités (Pelling, 2003 ; Lall Deichmann, 2009). Nous rapprochons ce phénomène de cumul des vulnérabilités au concept de « pièges spatiaux à pauvreté » introduit par Jalan et Ravallion en 1997. L'idée est que les zones les plus vulnérables se caractérisent non seulement par la concentration des populations pauvres, mais que ces gens sont pauvres parce qu'ils occupent ces espaces. Beaucoup de personnes pauvres sont attirées par les prix bas des terrains situés dans des zones "à risque" (d'inondations, de glissement de terrain,...) ou s'y installe de manière informelle, augmentant ainsi leur propre vulnérabilité par le prisme d'une exposition plus forte à différents types d'aléas (Lall Deichmann, 2009). Dans la banlieue de Dakar, par exemple, de nombreuses maisons ont été construites sur des zones inondables. L'idée de piège est intéressante dans ce contexte pour illustrer le cercle vicieux se refermant sur les plus pauvres. A Dakar, les populations les plus vulnérables sont souvent celles qui habitent déjà un environnement plus sensible aux risques que sont les inondations ou divers types d'épidémies par exemple (Wang et al., 2009). Nous pourrions donc également parler de pièges spatiaux à vulnérabilité. Les liens pourraient être plus qu'étroits entre les caractéristiques des territoires et celles des populations résidentes.

## CHAPITRE 7. L'inscription spatiale du paludisme-infection. Effets des distances spatiale et sociale

---

En s'appuyant sur les résultats d'un programme de recherche sur la densité vectorielle dans l'agglomération dakaroise, nous allons à présent améliorer notre estimation de la distance géographique en utilisant un indicateur entomologique basé sur les conditions climatiques et environnementales pendant la saison des pluies. Cela nous permettra de discuter des relations spatiales entre cet indicateur et les résultats des analyses précédentes sur la distance sociale. Puisque nous sommes dans l'impossibilité d'évaluer des paramètres prenant en compte le parasite, c'est-à-dire une mesure de la transmission, nous postulons que des contacts répétés ou intenses entre l'homme et le vecteur augmenterait la probabilité de la transmission du parasite entre les hôtes. Les deux notions de distances choisies ont été décrites comme constituant un moyen d'évaluation du risque de paludisme-infection en milieu urbain. Comme cela a été décrit dans la première partie de la thèse, l'intensité de la transmission palustre dépend non seulement de facteurs liés à la localisation du vecteur et à l'hôte humain mais aussi au parasite et à l'environnement en général. Cette transmission est en effet plus intense aux endroits où les espèces de vecteurs ont une durée de vie relativement longue (ce qui permet au parasite de compléter son cycle de développement à l'intérieur du moustique) et sont anthropophiles. C'est d'ailleurs la longue durée de vie et la forte préférence pour l'homme des espèces africaines de vecteurs qui expliquent que près de 90 % des décès par paludisme enregistrés dans le monde surviennent en Afrique (OMS, 2006 ; Rogier et al., 2006). De plus, la transmission est indirectement liée aux conditions climatiques telles que le régime des précipitations, la température et l'humidité, qui influencent l'abondance et la survie des métapopulations et le développement parasitaire. Nous avons vu qu'à Dakar, la transmission est spécifiquement saisonnière avec un pic pendant et après la saison des pluies.

### **1 Des moustiques et des hommes : structuration géographique des interactions hôtes-vecteurs**

De manière quasi concomitante au projet ACTUPALU<sup>79</sup>, une large collecte de données entomologiques a été effectuée pendant cinq ans dans la ville de Dakar, par une équipe de chercheurs du groupe "Maladies émergentes et moustiques"/Unité de Recherche sur les Maladies Infectieuses et Tropicales Emergentes (URMITE) du Département d'Infectiologie de Terrain de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA) de Marseille. Ces informations collectées ont été centralisées dans une base de données géoréférencées contenant toutes les variables entomologiques, environnementales, météorologiques, biologiques et physiques relevées sur le terrain ou par satellites. 45 sites couvrant une superficie de 200 m par 200 m en moyenne sur Dakar et sa proche banlieue ont été soumis à

---

<sup>79</sup> Projet ANR-07-SEST-001, calendrier 2008-2010

une importante étude entomologique de terrain afin d'identifier les vecteurs locaux, de proposer des mesures d'estimation de la transmission du paludisme à Dakar, puis de documenter son hétérogénéité (Machault et al., 2009 ; Gadiaga et al., 2011). Ces données collectées entre 2007 et 2010 ont permis d'entreprendre une modélisation du risque de paludisme dans Dakar (Machault et al., 2012). Ces travaux ont eu pour objectif de produire des modèles de risque entomologique à partir de données télédéteectées. Le risque lié aux densités d'*Anopheles gambiae s.l* a été cartographié via les données météorologiques et celles extraites de l'imagerie satellite à haute résolution spatiale sur Dakar (Machault, 2010). Dans le cadre d'une collaboration avec cette équipe (Borderon et al., 2014), nous avons pu bénéficier de ces données afin de compléter notre base de données géoréférencées. Le croisement de ces différentes sources de données permet de nous interroger sur une structuration géographique des distributions anophéliennes en fonction des différents types de tissus urbains décrits précédemment, puis de la typologie de vulnérabilité sociale. L'intérêt est de questionner les attributs des lieux d'interaction forte entre l'hôte et le vecteur, attributs qui semblent aller au-delà des simples caractéristiques de l'environnement physique décrites habituellement, telles l'eau et la végétation.

### 1.1 Risque entomologique et taux d'agressivité

Jusque-là, nous avons utilisé un proxy pour l'estimation du risque anophélien dans l'agglomération, par l'extraction des attributs paysagers "eau et végétation" issus d'imagerie satellite. La disponibilité récente de ces travaux sur le risque entomologique dans l'agglomération de Dakar, nous a permis d'obtenir une variable modélisée du taux d'agressivité anophélien dans 1476 districts de recensement selon plusieurs pas de temps<sup>80</sup>. Le taux d'agressivité anophélien fait partie des indicateurs classiques de mesures du risque entomologique, au même titre que le Taux d'Inoculation Entomologique (TIE). Il est une estimation du nombre de piqûres par homme et par unité de temps (par nuit par exemple) tandis que le TIE, se définit par l'estimation du nombre de piqûre infectante par homme et par unité de temps. Le taux d'infection anophélien est très faible dans la plupart des zones urbaines, estimée souvent inférieur à 2%<sup>81</sup>. L'estimation du TIE par collecte de données primaires, soit la capture de moustiques, la vérification par microscope du portage du parasite et le comptage des espèces infectées est donc bien souvent aporétique, nécessitant de répéter des récoltes de plusieurs dizaines de milliers de moustiques pour une estimation robuste.

Nous utilisons les résultats de ce modèle entomologique sur le taux d'agressivité anophélien. Afin de correspondre à nos données, cette variable a été travaillée dans l'objectif de caractériser notre échelle d'étude, c'est-à-dire le district de recensement. L'idée est

---

<sup>80</sup> Leur zone d'étude est plus restreinte que la nôtre qui comprend les 2000 districts du recensement. Les zones de chevauchement entre les données ne prennent pas en compte le front est, comprenant une partie de Pikine et la commune de Rufisque (l'annexe 2 résume le contexte de l'étude et la construction de la variable "taux d'agressivité").

<sup>81</sup> Selon les discussions que nous avons eues avec les experts entomologiques travaillant à Dakar.

d'obtenir une estimation du taux d'agressivité moyen par district de recensement en septembre 2008. En effet, nous avons fait le choix d'utiliser un modèle donnant les moyennes de taux d'agressivité anophélien pour le mois de septembre 2008, respectant la temporalité des données issues de télédétection provenant des images collectées dans le cadre du programme ACTUPALU (annexe 3). Le mois de septembre correspond à la fin de la saison de l'hivernage, qui correspond à un mois où la densité anophélienne est particulièrement forte. Cette information est cruciale dans la prise en compte de l'interprétation des résultats pour les analyses prenant en compte cet indicateur. En effet, pendant la saison des pluies, le taux d'agressivité moyen peut être très élevé (plus de 250 piqûres par personne et par nuit), même dans des quartiers centraux qui peuvent être en temps normal totalement exempts ou quasi-exempts d'anophèles adultes (Machault, 2010). Ce risque anophélien, le taux d'agressivité, renvoie ainsi au degré d'exposition des populations aux piqûres d'anophèles. Il serait intéressant de percevoir si la probabilité d'être piqué par des moustiques vecteurs est remarquablement variable selon une différenciation de l'espace urbain.

## 1.2 Distance géographique et tissus urbains : des lieux de prédilection du vecteur identifiables?

Dans la partie II, nous avons construit et décrit une typologie de tissus urbains observés dans l'agglomération dakaroise. Notre hypothèse est que les valeurs de la variable estimée "taux d'agressivité" pourrait s'organiser selon les modalités de la typologie des tissus urbains. En d'autres termes, il pourrait y avoir une logique des répartitions entomologiques en fonction de ces paysages urbains. Cette démarche s'inscrit dans la lignée des études qui ont cherché à souligner l'existence de paysages à risques ou qualifiés "d'épidémiogènes", c'est-à-dire des paysages qui peuvent potentiellement supporter, par leurs attributs, un ou des système(s) pathogène(s) complexe(s) (Amat-Roze & Rémy, 1983 ; Rémy, 1988b ; Lambin et al., 2010 ; Méha et al., 2012).

Pour ce faire, notre première idée a été de réaliser une analyse de variance (ANOVA) à un facteur permettant d'étudier le comportement du taux d'agressivité en fonction des types de tissus urbains, définissant six groupes indépendants. Ce test repose sur une décomposition de la variance totale en une variance intra-classe (variabilité à l'intérieur de chaque modalité de la variable catégorielle) et inter-classe (variabilité entre les différentes modalités) :

$$\sum_{i=1}^n (y_i - m_y)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - m_g)^2 + \sum_{j=0}^k (m_g - m_y)^2$$

où  $y_i$  est la valeur de l'individu  $i$ ,  $m_y$  est la moyenne arithmétique de la variable quantitative  $Y$  et  $m_g$  est la moyenne de la modalité ou du groupe à laquelle appartient l'individu  $i$ .  $(y_i - m_y)$  correspond à la dispersion totale,  $(y_i - m_g)$  à la dispersion à l'intérieur de chaque groupe et  $(m_g - m_y)$  à la dispersion entre les groupes.

Cependant, ce test repose sur des hypothèses restrictives telles que la normalité et l'égalité des variances des distributions entre les groupes<sup>82</sup>. Dans le cas éventuel où l'échantillon est assez grand, il est également possible de se référer au théorème central limite pour la normalité de la distribution échantillonnale des différences de moyennes. Il existe plusieurs moyens de tester au préalable ces hypothèses, notamment par des tests de normalité<sup>83</sup> ou d'homogénéité des variances<sup>84</sup>.

Ainsi, bien que les résultats de l'ANOVA aillent dans le sens d'un rejet de l'indépendance entre les deux variables d'études, il ne nous est guère possible de confirmer ou de discuter les résultats de cette analyse compte tenu du rejet de la normalité et de l'égalité des variances entre nos groupes, illustré par le test de Bartlett :

**Tableau 8 : ANOVA entre le taux d'agressivité et les types de tissus urbains**

Descriptif	Analyse de variance				
	SS	df	MS	F	Prob>F
Inter-groupe	9637052,11	5	1927410,42	37,80	0,0000
Intra-groupe	74499053,7	1461	50991,8232		
Total	84136105,8	1466	57391,6138		

Test de Bartlett sur l'égalité des variances :  $\chi^2(5)=670,0757$  Prob> $\chi^2=0,000$

Le rapport entre la variation interclasse et la variation totale est cependant très faible ( $I \approx 0,12$ ), exprimant que les tissus urbains ne détermineraient dans tous les cas qu'une faible partie des variations du taux d'agressivité. S'il apparaît que les données ne sont pas compatibles avec les hypothèses d'ANOVA et que nous ne pouvons donc pas interpréter les résultats obtenus, il nous reste d'autres possibilités pour décrire le lien pressenti entre les variables.

Bien que moins puissant que les tests paramétriques mais n'exigeant aucun présupposé, nous pouvons tester cette hypothèse d'égalité des moyennes en recourant à un test non paramétrique, le test de Kruskal-Wallis.

<sup>82</sup> [http://onlinestatbook.com/2/analysis\\_of\\_variance/within-subjects.html](http://onlinestatbook.com/2/analysis_of_variance/within-subjects.html)

<sup>83</sup> Par exemple le test de Kolmogorov-Smirnov ou encore celui de Shapiro-Wilks. La lecture d'un simple diagramme quantile-quantile permet également de tester cette hypothèse.

<sup>84</sup> Nous avons utilisé le test de Bartlett pour l'égalité des variances.



**Tableau 9 : Test de Kruskal-Wallis entre le taux d'agressivité et les types de tissus urbains**

Classification des tissus urbains	Observations	Somme des rangs
1	155	129982,5
2	199	49656,5
3	238	130663,5
4	26	24343,5
5	523	450122
06	326	292010

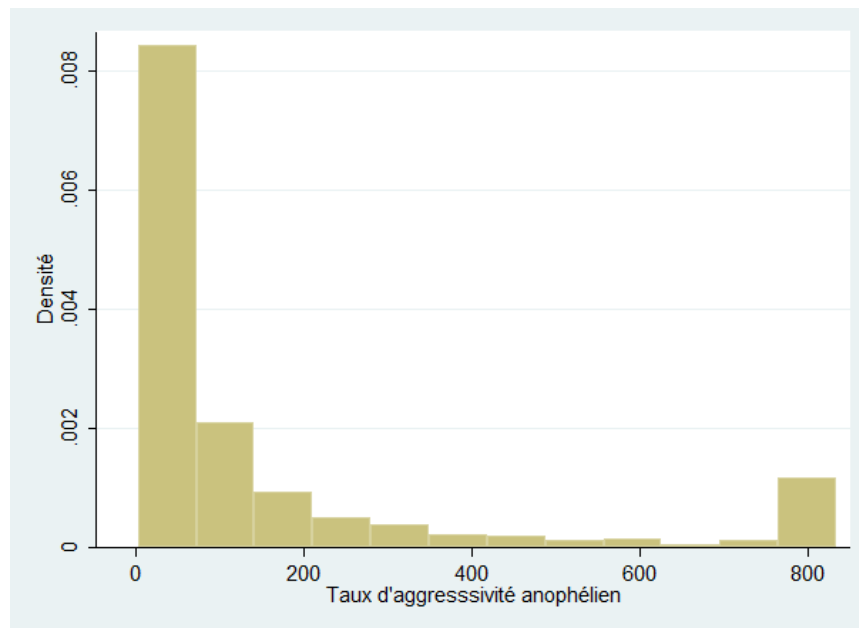
$\chi^2 = 415,292$  avec 5 degrés de liberté -  $P=0,0001$

Puisque la p-valeur est inférieure à 0,01, nous décidons, au seuil de 1%, de rejeter l'hypothèse nulle  $H_0$ . Nous pouvons conclure à l'influence significative de la typologie urbaine sur le taux d'agressivité anophélien. Le risque associé à cette décision est un risque de première espèce qui vaut au seuil de 1%. Les résultats de ce test vont donc dans le sens d'un rejet de l'indépendance des variables. Il semble bien qu'une partie de la variabilité du taux d'agressivité anophélien s'explique par les modalités de la typologie des tissus urbains.

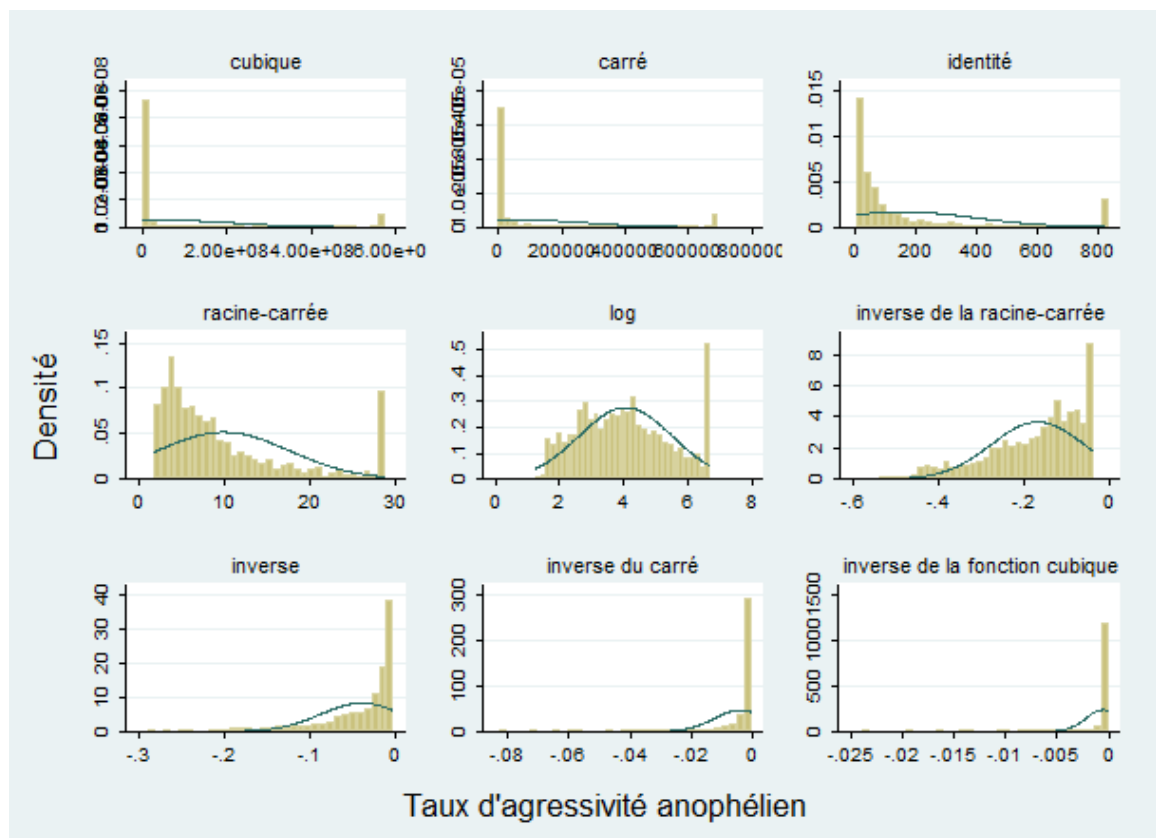
Considérant une troisième option pour tester la dépendance entre les deux variables, nous avons également envisagé la normalisation de la variable d'intérêt. En effet, il est parfois possible de rendre normale la distribution de la variable d'étude par une fonction mathématique. Nous avons testé différentes fonctions mais le taux d'agressivité anophélien, même transformé, ne présente pas les caractéristiques d'une distribution gaussienne (figure 39 et figure 40). Il est à noter que le nombre conséquent de valeurs à l'extrême supérieur (833<sup>85</sup>) est dû à la construction même de la variable. Il a été décidé qu'à partir d'un certain nombre de piqûres prédites, il y a de toute façon saturation et l'augmentation du nombre n'a pas de signification. Un seuil limite a été décidé par les chercheurs de l'URMITE et le modèle est arrêté à l'estimation de 833 piqûres.

<sup>85</sup> Si la grandeur du nombre peut surprendre, il faut avoir en tête que ce nombre de piqûres exprimées par homme et par nuit est théorique, dans le sens où il désigne des conditions qui ne se réalise pas dans la vie courante. Ce nombre correspond au nombre de piqûres que recevrait un homme avec une surface de peau largement visible (short/tee-shirt par exemple) et veillant toute la nuit à l'extérieur en se faisant piquer sans réagir et sans tenter de se protéger. Cela correspond à une piqûre par minute environ.

**Figure 39 : Densité de probabilité du taux d'agressivité anophélien**



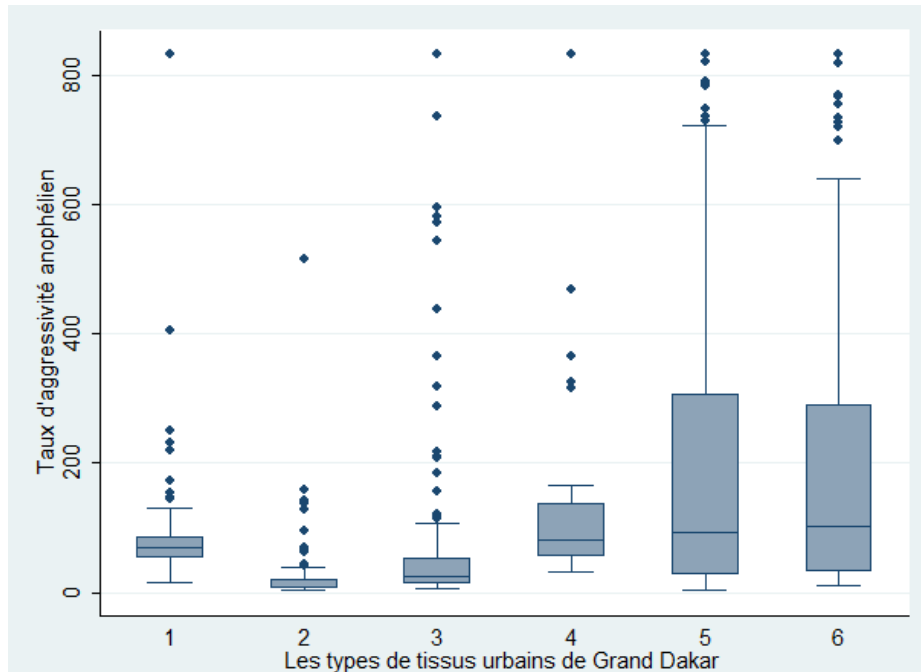
**Figure 40 : Histogrammes des transformations mathématiques opérées sur le taux d'agressivité anophélien**



Abandonnant l'idée de transformer la variable, l'enjeu actuel est de donner du sens à cette relation qui semblerait exister entre les deux variables. Un examen visuel de boîtes à

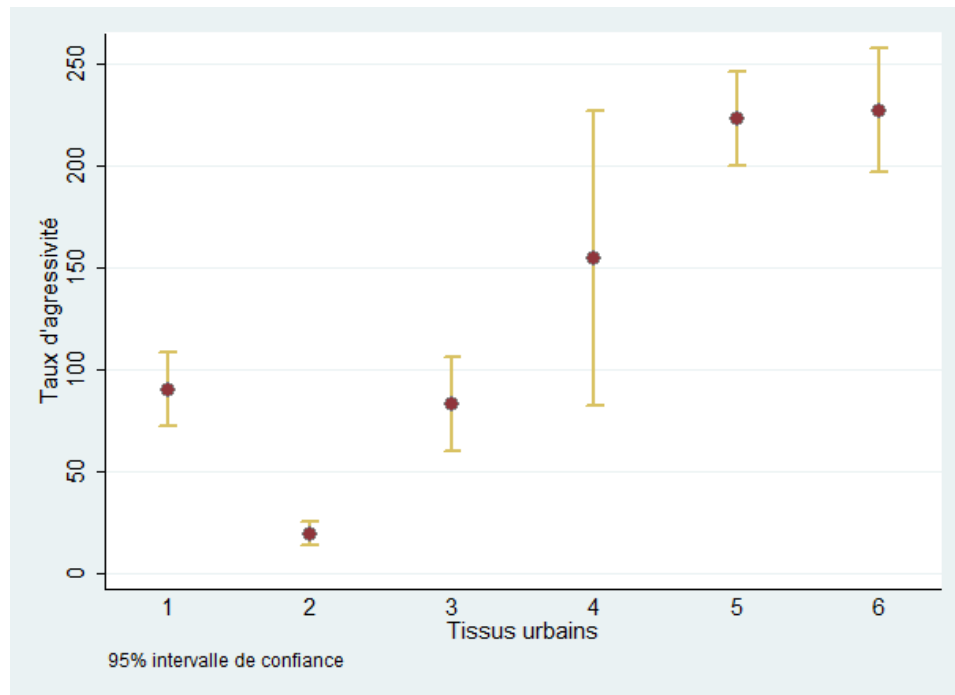
moustaches conditionnels (figure 41), peut nous permettre déjà d'en savoir un peu plus sur la distribution du taux d'agressivité selon les différents tissus urbains.

**Figure 41 : Les boîtes à moustaches du taux d'agressivité en fonction de la typologie des tissus urbains**



Ce graphique conditionnel permet d'avoir une idée de la tendance centrale des valeurs de chaque boîte en observant la position de la médiane. A l'exception de la classe 1, les distributions sont particulièrement asymétriques. En outre, la longueur des boîtes des classes 5 et 6 nous renseigne sur la variabilité forte des valeurs pour ces deux sous-groupes dont les distributions semblent sensiblement identiques. Dans les différents cas, les valeurs extrêmes sont plutôt nombreuses. La classe 2 se distingue clairement. Les 199 observations de la classe présente une variabilité restreinte des valeurs et une moyenne sensiblement inférieure aux autres (voir graphique suivant). Il est possible sur la figure ci-dessous de comparer les moyennes des groupes en prenant en compte les intervalles de confiance. Les autres intervalles se chevauchent indiquant que la plupart des groupes possèdent des valeurs de moyennes possiblement compatibles. Cependant, les classes 5 et 6 sont très semblables, avec des valeurs plutôt fortes, et se différencient notablement des classes 1 et 3, semblables, et aux valeurs plutôt faibles. Seule la classe 4 semble très hétérogène et couvre un large spectre de valeurs.

**Figure 42 : Comparaison visuelle des moyennes du taux d'agressivité par tissu urbain**



La classe n°2 est dominée par le type "urbain 1" décrit dans la figure 22. Majoritaire dans les districts nord de Guédiawaye, il correspond à une zone particulièrement sablonneuse avec de l'habitat spontané régulier prédominé par des maisons à étages en béton. Le sable, le manque de végétation ainsi que les maisons en dur, à étages, dans un espace où la proximité de la côte océanique apporte une brise, semble autant de conditions peu propices au développement anophélien. Les classes 1 et 3 correspondent aux tissus urbains 2 et 4. D'un côté, nous avons un bâti dense reprenant principalement les quartiers du centre-ville, l'urbain 2, de l'autre, des zones résidentielles de haut standing, des maisons individuelles. Dans les cas, la voirie est goudronnée et il n'est donc pas surprenant que ces tissus soient caractérisés par un taux d'agressivité plutôt bas. Les classes 5 et 6, dominées par les tissus urbains 3 et 6, sont reliées plutôt à des nombres de piqûres importants. Dans les deux cas, ils représentent un bâti plutôt irrégulier, non planifié où l'asphalte est absent. Enfin, la classe 4, le tissu urbain 5, est composée d'habitat non résidentiel, et correspond plutôt aux districts regroupant les zones industrielles. Son hétérogénéité quant au taux d'agressivité n'est donc pas caractéristique de zones résidentielles dominantes.

En outre, comme nous utilisons cette donnée modélisée "taux d'agressivité anophélien" qui est en partie réalisée d'après des informations également issues de la télédétection (présence d'eau et de végétation par exemple), cette éventuelle dépendance entre le taux d'agressivité anophélien et les tissus urbains pourrait s'interpréter indirectement comme une dépendance entre le type de tissu et la présence d'eau et de végétation. Le postulat qu'une

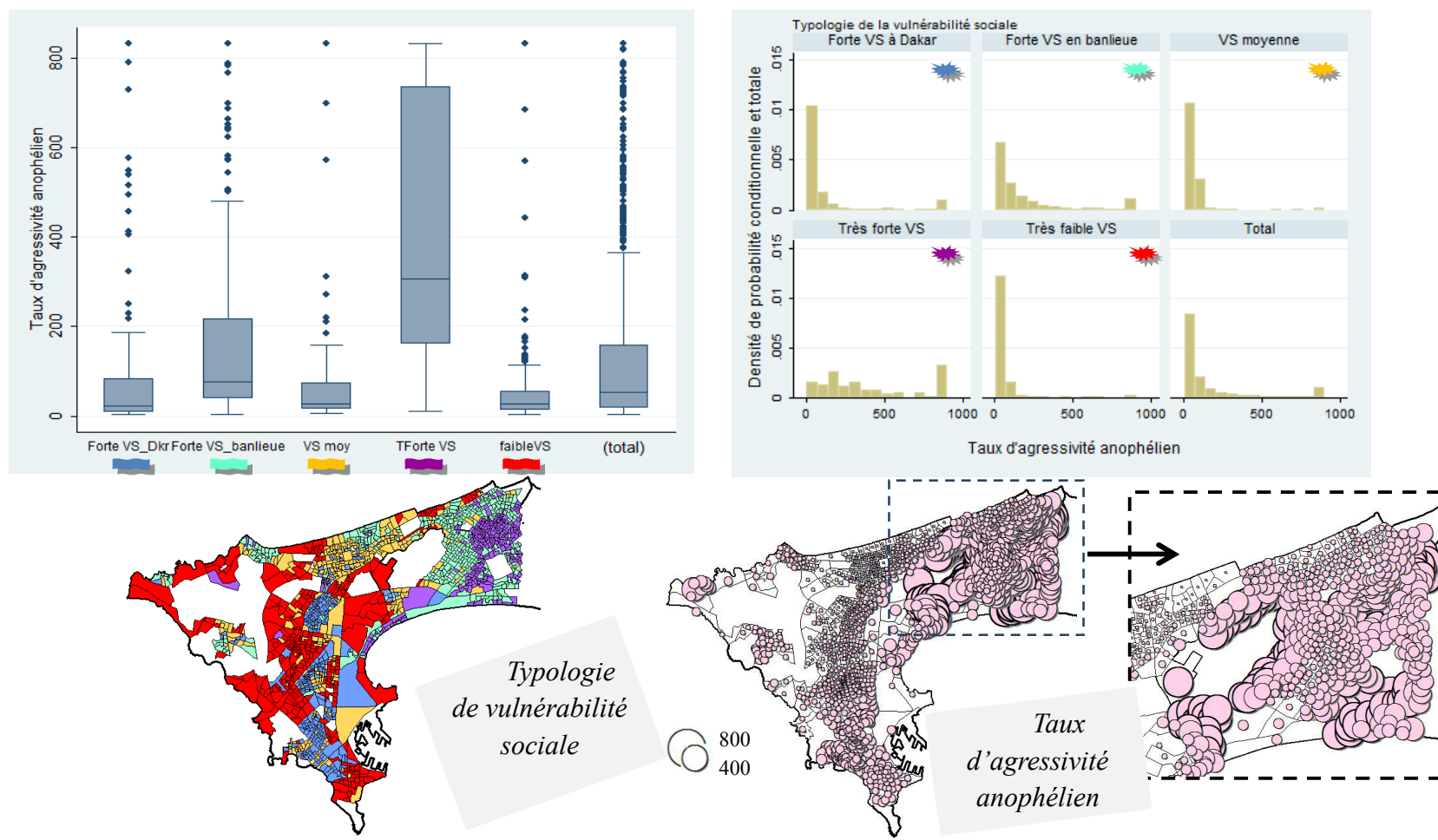
densité plus lâche des zones bâties ou anthropisées augmente les surfaces potentielles de gîtes anophéliens ou a contrario les restreint est confirmé dans la littérature (Robert et al., 2003).

Cette description d'une dépendance entre paysage urbain et données vectorielles nous amène à faire une hypothèse plus restreinte prenant cette fois-ci uniquement les attributs socio-économiques des districts. Nous faisons l'hypothèse que les populations présentant la plus forte vulnérabilité socio-économique sont celles qui rencontrent un taux d'agressivité anophélien élevé. Si l'hypothèse peut paraître des plus logiques au premier abord - les populations vulnérables ayant un choix limité dans leur zone résidentielle par exemple, elle n'est pas des plus intuitives chez la communauté des experts sur le paludisme. En effet, dans les caractéristiques des gîtes larvaires préférentiels que nous avons décrits dans l'état de l'art sur le paludisme, il est souligné que le vecteur préfère les eaux salubres, non souillées et les gîtes naturels. La plus grande difficulté des populations défavorisées à maîtriser leur environnement (évacuation des déchets ménagers, des eaux souillées,...) est plutôt défavorable aux espèces anophéliennes. Afin d'apporter un éclairage sur ces questionnements, nous souhaitons interroger l'éventuelle dépendance du taux d'agressivité d'anophèles avec, cette fois-ci, la typologie de vulnérabilité sociale élaborée précédemment.

### 1.3 Anophèles et populations vulnérables, des localisations concordantes?

Dans une démarche similaire à celle menée précédemment, nous avons exploré l'éventuel lien existant entre le nombre moyen de piqûres par homme et par nuit dans chacun des districts et leur appartenance aux différentes classes de vulnérabilité sociale décrite dans la typologie construite d'après l'analyse des données censitaires. Les résultats de l'ANOVA, bien que les conditions du test ne soient pas respectées, ainsi que les résultats du test de Kruskal Wallis, semblent souligner une dépendance des variables, confirmée par le rejet de l'hypothèse nulle selon laquelle les moyennes seraient égales. Le rapport entre la variance intra-classe et la variance totale nous donne une idée de l'intensité de la relation qui est environ égale à 0,25. Si l'effet semble donc encore faible, il est loin d'être négligeable. Afin de décrire en profondeur la nature du lien, la lecture des boîtes à moustaches conditionnelles et des histogrammes de densité de probabilité permet d'interpréter comment se distribue le taux d'agressivité par catégorie.

**Figure 43 : Boîtes à moustaches et densité de probabilité du taux d'agressivité en fonction de la typologie de vulnérabilité sociale avec rappel cartographique des variables<sup>86</sup>**



<sup>86</sup> Les représentations cartographiques des variables sont ajoutées ici à titre indicatif, afin d'aider la lecture et l'interprétation des analyses. Le rappel cartographique de la typologie de vulnérabilité sociale reprend les mêmes couleurs que celles de la figure 35. Cependant il est à noter qu'ici, les plages de valeurs qui indiquent l'éloignement des districts au barycentre de chaque modalité n'ont pas été représentées.

Les catégories "forte vulnérabilité en banlieue" et "très forte vulnérabilité" ont un comportement différent des trois autres. Etant données que les populations très fortement vulnérables se situent majoritairement à l'ouest dans les communes de Pikine et de Guédiawaye, il semble qu'on puisse lire ici une dichotomie forte entre le centre urbain de Dakar et le reste de l'agglomération, comprenant le nord de la commune de Dakar, Pikine et Guédiawaye. Les fortes vulnérabilités semblent bien liées à la possibilité de valeurs plus élevées du taux d'agressivité. L'exception est faite pour la classe de vulnérabilité forte qui caractérise les populations de la commune de Dakar dont le profil est atypique par rapport aux populations vulnérables des banlieues (comme nous l'avions décrit précédemment la situation centrale de la commune, leur confère une position particulière dans le centre-ville bien que leurs conditions de vie restent médiocres). Les densités de probabilité de la variable pour chacun des types de vulnérabilité met également en lumière un comportement différent de la vulnérabilité très forte et celle forte en banlieue par rapport aux trois autres modalités. Dans ces deux cas, les faibles valeurs du taux d'agressivité sont largement moins représentées, à l'instar des situations où les valeurs sont très fortes. *A contrario*, là où la vulnérabilité est la plus faible, les valeurs du taux d'agressivité sont quasiment toutes dans le voisinage de zéro. Ainsi, la situation autour et à l'est de la Grande Niaye, au croisement des communes de Pikine et Guédiawaye, semble être le lieu où les districts aux taux d'agressivité anophéliens importants regroupent les populations les plus vulnérables de la banlieue de Dakar et de l'agglomération en général. Cela est en accord avec les résultats du modèle du risque de paludisme-infection réalisé dans le chapitre précédent.

Il semble donc qu'il y ait une logique spatiale sous-jacente et un lien étroit bien que non linéaire entre la géographie des populations vulnérables et le taux d'agressivité anophélien. Nous souhaitons à présent explorer cette facette de dépendance entre les deux variables, en incluant explicitement l'espace comme déterminant commun dans la distribution de ces deux indicateurs.

## **2 Les effets du social sur la distance géographique : une distribution spatiale étroite entre l'hôte et le vecteur**

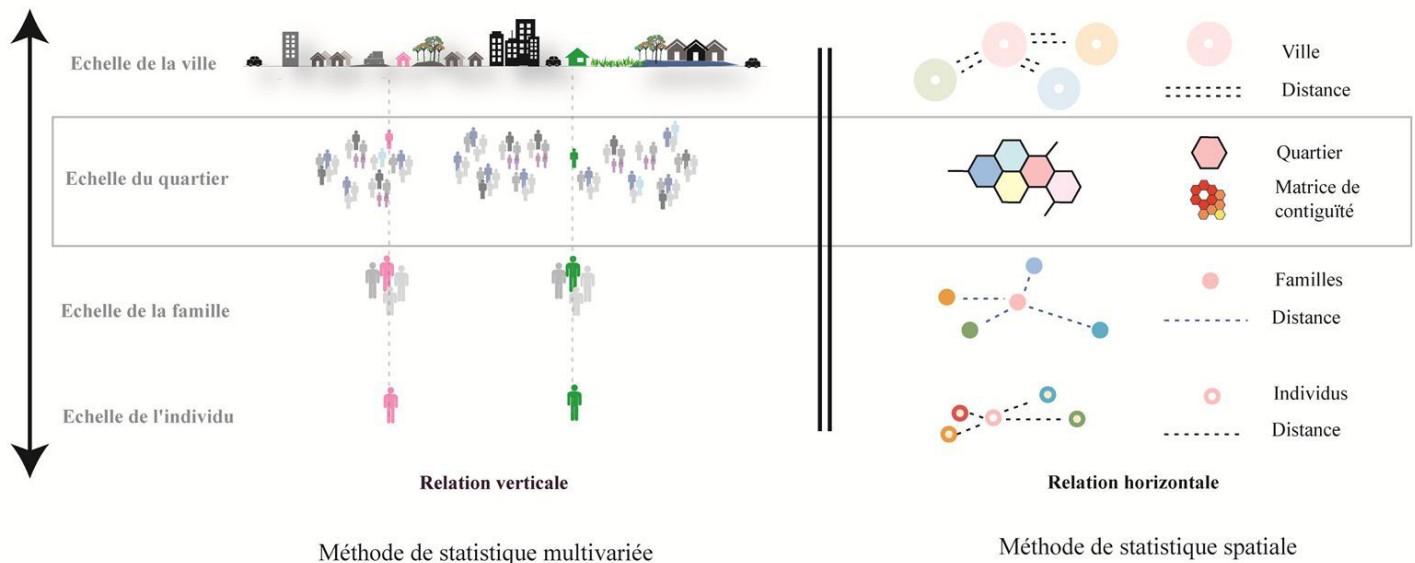
Nous venons de voir qu'il y a, dans certaines zones de l'agglomération Dakaroise, une dépendance entre une moyenne élevée de piqures anophéliennes par personne et une forte vulnérabilité sociale. Cependant, nous ne cherchons pas à établir que l'une expliquerait l'autre, comme c'est le cas lors d'un rapport de causalité entre deux variables. L'hypothèse mise en avant suggère plutôt une dépendance spatiale entre les deux.

### **2.1 Une dépendance spatiale entre distance géographique et distance sociale**

Puisque nous supposons que la dépendance entre l'hôte et le vecteur est liée à sa localisation dans l'espace, il semble intéressant de se pencher du côté des instruments de la

statistique spatiale. Ces outils permettent notamment de prendre en compte les logiques de distribution horizontales des individus (voir fig. 43). Nous nous interrogeons sur le fait que le lien entre le caractère vulnérable des populations et le taux d'agressivité puisse dépasser le cadre des districts en formant peut-être des regroupements spatiaux de districts "vulnérables-fort taux d'agressivité" ou "peu vulnérable-faible taux d'agressivité".

**Figure 44 : Les logiques d'occupation de l'espace. Schématisation des éléments d'intérêt de la statistique spatiale**



Pour ce faire, nous avons choisi de mobiliser l'outil exploratoire des LISA (les indicateurs locaux d'association spatiale) bivariés (Anselin et al., 2002). Les LISA sont fréquemment utilisés pour mesurer l'autocorrélation spatiale locale d'une variable, c'est-à-dire la corrélation entre la variable  $x$  et le décalage spatial (*spatial lag*) de cette même variable  $x$  (on regarde  $x$  et les valeurs de  $x$  dans le voisinage) (Anselin, 1995). Moins souvent utilisés, les BiLISA ou LISA bivariés soulignent la corrélation entre une variable  $x$  et une variable différente dans le voisinage. Cette approche bivariée de l'autocorrélation spatiale présente l'intérêt d'explorer les structures spatiales des données sociales en tenant compte parallèlement d'autres dimensions : écologiques, temporelles, etc (Oliveau, 2010). La figure suivante résume l'équation des deux méthodes.



**Figure 45 : LISA et BiLISA : des outils pour l'étude de la corrélation spatiale des variables<sup>87</sup> (D'après Anselin, 1995 et Anselin et al., 2002)**

<p>• <b>Le I de Moran local</b></p> $I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$ <p>avec <math>z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{SD_x}</math></p>		<p>• <b>Le LISA bivarié</b></p> $I_i = \frac{\sum_j w_{ij} (z_i - \bar{z})(u_j - \bar{u})}{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}$
---	--	---

$W_{ij}$  est la matrice de contiguïté  
 $Z_i$  est la variable originale  $x_i$  dans sa forme standardisée  
 $U_j$  est la valeur de la variable  $u$  pour les individus  $j$

L'intérêt est d'utiliser ces méthodes dans un but descriptif du lien de dépendance éventuelle entre le taux d'agressivité et la vulnérabilité sociale. Comme le souligne l'encart suivant, il n'y a pas de rapport de causalité entre les deux, l'une n'explique pas l'autre et vice-versa. Il serait en effet absurde dans le raisonnement de souligner que le taux d'agressivité anophélien peut s'expliquer par le degré de vulnérabilité sociale des habitants ou son contraire. Notre hypothèse d'une dépendance spatiale entre les deux provient plutôt des logiques résidentielles des populations vulnérables socialement qui, par la limitation de leur choix, sont plus susceptibles d'habiter des zones marécageuses ou inondables présentant un risque anophélien élevé.

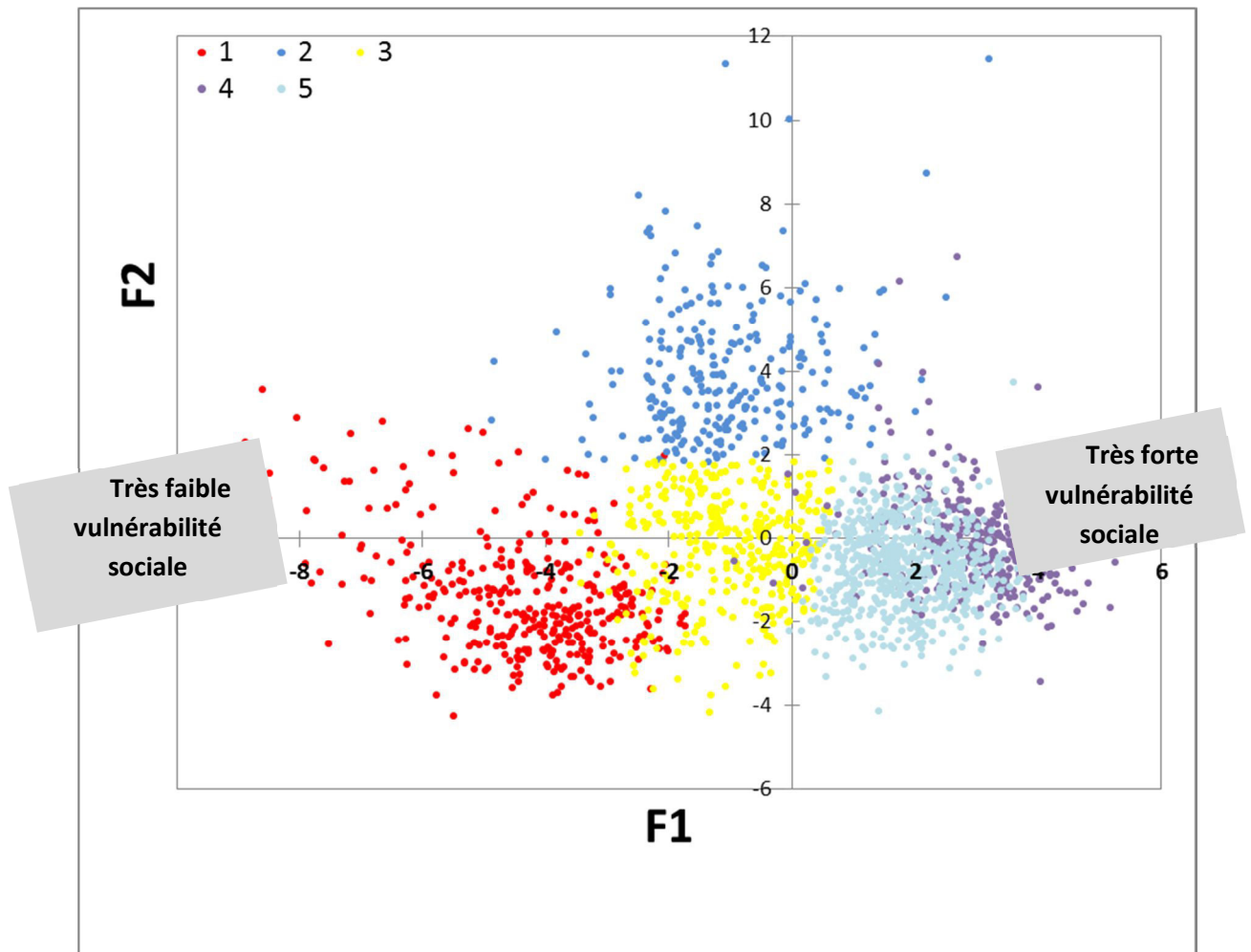
<sup>87</sup> Concernant les notations propres aux statistiques spatiales, rappelons que bien souvent  $x$  et  $y$  sont réservées au positionnement des individus dans le plan tandis que la variable est notée  $Z$  et la valeur qu'elle prend pour un individu  $Z_i$ . Puisque tout individu  $i$  peut avoir un voisin, celui-ci est indiqué par la lettre  $j$  et la matrice de pondération est caractérisée par la notation  $W_{ij}$ .

**Encadré 9 : Dépendance, symétrie et logique de raisonnement**

Lorsqu' $y=f(x)$ ,  $y$  est la variable dépendante (à expliquer) et  $x$  la variable indépendante (explicative). Les valeurs de  $x$  peuvent donc prédire les valeurs de  $y$ , mais il n'est pas certain que la réciproque soit vraie. Dans notre cas, nous cherchons seulement à vérifier s'il existe une dépendance entre le taux d'agressivité et la vulnérabilité sociale sans prétendre que l'un est la cause de l'autre. Théoriquement, il ne fait pas sens de percevoir un lien de causalité entre les deux. Cependant, en pratique, nous utilisons le taux d'agressivité comme variable  $y$  que nous cherchons à décrire par  $x$ , ici la vulnérabilité sociale. En effet, nous supposons que l'occupation dans l'espace des hommes est intrinsèquement liée à leurs caractéristiques socio-économiques qui contraignent leurs possibilités de s'éloigner des risques épidémiogènes. En restreignant les populations dans leur choix d'environnement et son contrôle, les situations de forte vulnérabilité exposeraient les individus à des paysages au risque épidémiogène plus élevé, représenté ici par le taux d'agressivité.

Les BiLISA nécessitent l'utilisation de deux variables quantitatives. Pour la distance sociale, nous avons choisi d'utiliser l'axe factoriel F1 provenant des résultats de l'ACP qui a servi à l'élaboration de la typologie de vulnérabilité sociale. Pour comprendre ce que décrit ce dernier, nous avons représenté les districts de recensement sur le plan factoriel de l'ACP finale (figure 46). Les couleurs correspondent à l'appartenance des DR aux modalités de la typologie, respectant les couleurs qui ont été employées dans la cartographie finale.

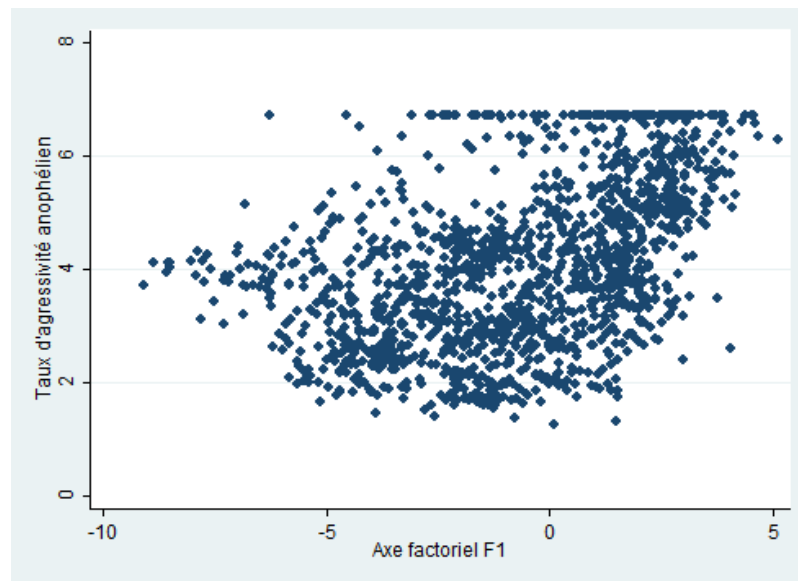
**Figure 46 : Représentation graphique du plan factoriel de l'ACP final sur les données censitaires**



Cependant, l'utilisation d'un seul des axes factoriels réduit le détail que nous avons sur la vulnérabilité sociale. En effet, F1 nous donnerait plutôt une typologie en 4 classes, il ne discrimine pas les situations entre les types 2 et 3, c'est à dire la vulnérabilité moyenne et la vulnérabilité forte à Dakar. Ce sont les informations du recensement résumées par l'axe F2 qui font cette distinction. Nous savons en outre que F1 explique 30 % de la variance des données censitaires utilisées.

Avant l'utilisation du BiLISA, nous avons regardé le diagramme simple de corrélation entre F1 et le taux d'agressivité. Le nuage de point suggère cependant une absence visible de relation entre les deux (figure 47).

**Figure 47 : Diagramme des corrélations entre F1 et le taux d'agressivité**



Nous avons également réalisé des diagrammes de corrélation conditionnels, en fonction des tissus urbains, afin de percevoir si la relation aurait du sens seulement dans certains types de tissus urbains.

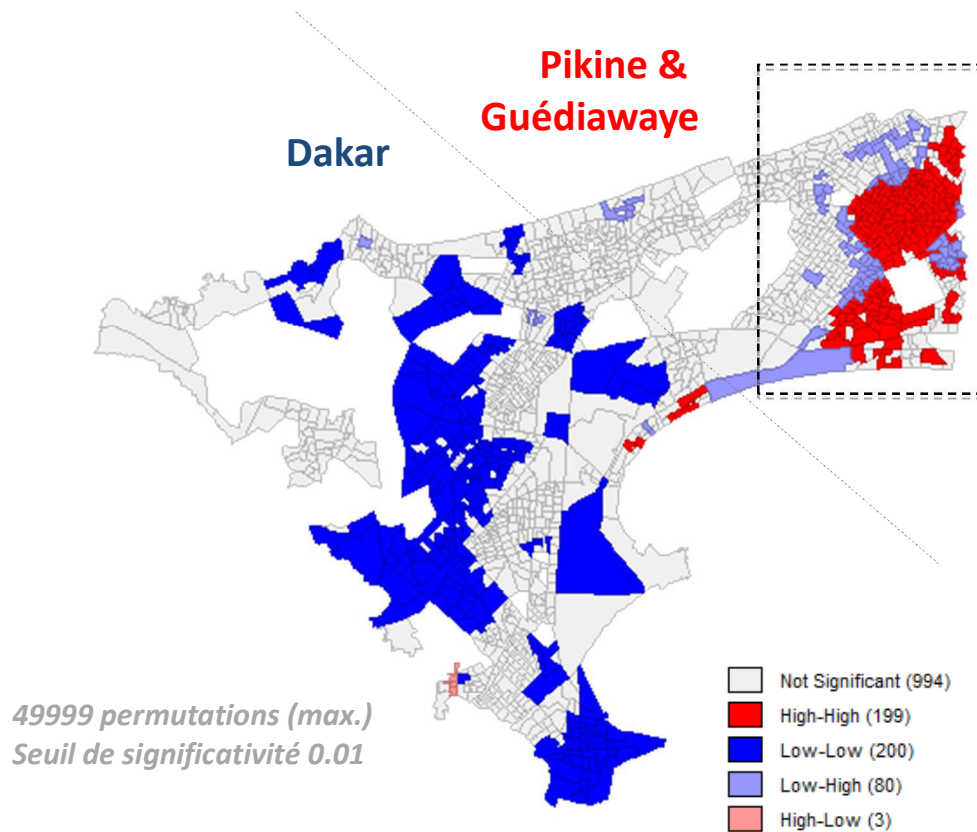
**Figure 48 : Diagramme des corrélations entre F1 et le taux d'agressivité en fonction des tissus urbains**



La relation semble absente dans quatre des classes de tissus urbains et une relation faible mais perceptible pourrait caractériser les classes 3 et 6, respectivement dominées par les tissus urbains 4 et 6. L'urbain 4 représente majoritairement les zones résidentielles de Dakar tandis que l'urbain 6 est composé d'habitat de type villageois disséminé tant dans la commune de Dakar qu'à Pikine et Guédiawaye. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés dans les deux cas et soulignent une corrélation positive assez forte. La relation ne semble donc pas évidente partout entre le taux d'agressivité et la vulnérabilité sociale, mais ces résultats préliminaires nous confirment l'intérêt d'utiliser les LISA bivariés qui peuvent aussi se lire comme une version locale du coefficient de corrélation.

Nous avons premièrement regardé l'autocorrélation spatiale de F1 et celle du taux d'agressivité avec le I de Moran. Dans les deux cas l'autocorrélation est très forte (respectivement 0,80 pour F1 et 0,87 pour le taux d'agressivité). Dans le cas de F1, cela montre une certaine homogénéité spatiale entre les groupes sociaux : les DR ont tendance à ressembler à leurs DR voisins en termes de vulnérabilité sociale. Dans le cas du taux d'agressivité, l'explication est à chercher du côté de la construction même de l'indicateur. Estimée d'après des indices environnementaux issus de la télédétection, la logique paysagère située en amont du modèle rend évidente la proximité spatiale des valeurs voisines du taux d'agressivité. La matrice de contiguïté retenue est la contiguïté de la reine, dite "Queen contiguity", définit par une contiguïté nodale : un nœud commun suffit à définir le voisinage (Anselin, 1988). Dans chacun des calculs d'autocorrélation spatiale, un voisinage d'ordre 1 a été choisi. Il est à noter que la configuration de la presqu'île de Dakar joue indéniablement un rôle dans l'aspect final de la matrice de contiguïté puisque les districts de la côte et ceux proches des espaces non peuplés (comme l'aéroport et la Grande Niaye) n'ont pas le même nombre de voisins. Les résultats du LISA bivarié sont cartographiés ci-après.

**Figure 49 : Cartographie des résultats du LISA bivarié**



La cohérence spatiale entre la vulnérabilité sociale et l'exposition des territoires est plutôt bien soulignée. 42% de la variabilité entomologique (le taux d'agressivité) sont expliqués par une partie de la vulnérabilité sociale (ce 1<sup>er</sup> axe factoriel caractérisant la vulnérabilité des populations). La lecture de la carte donne des résultats sensiblement voisins aux explorations précédentes en suggérant une fracture entre Dakar, le centre-ville et les banlieues de Pikine et de Guédiawaye. Les DR colorés soulignent les DR qui présentent des associations significativement positives. En rouge ce sont les associations positives : les DR à fort risque de piqûres sont voisins de DR les plus vulnérables ; en bleu foncé ce sont les associations négatives : les DR dont la vulnérabilité est plus faible avoisinent des zones où le nombre de piqûres est faible. Les teintes plus claires, roses et bleues, présentent les DR qui forment des exceptions. L'avantage de cette méthode est d'écarter les DR qui ne sont pas représentatifs, c'est-à-dire qu'au seuil de significativité de 99,9% dans ce cas d'étude, ils ne présentent pas de corrélation positive entre le nombre de piqûres d'anophèle et le profil social des districts voisins.

Ce lien entre les structurations spatiales des deux variables nous suggère la validation des deux interprétations que nous avons énoncées précédemment :

- Les personnes vulnérables sont restreintes dans leurs choix résidentiels, elles vivent plus près des zones inondables ou des zones humides, paysages de prédilection pour les moustiques.

- La maîtrise de l'environnement est un confort des populations les moins vulnérables.

En allant plus loin sur la conceptualisation de ce lien, nous pourrions discuter de l'équation classique du risque défini par le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité. Notre exemple d'étude souligne l'impossibilité de définir l'aléa et la vulnérabilité comme deux entités indépendantes. Leur dépendance spatiale semble même forte dans notre cas.

## 2.2 La vulnérabilité frappe-t-elle toujours deux fois ?

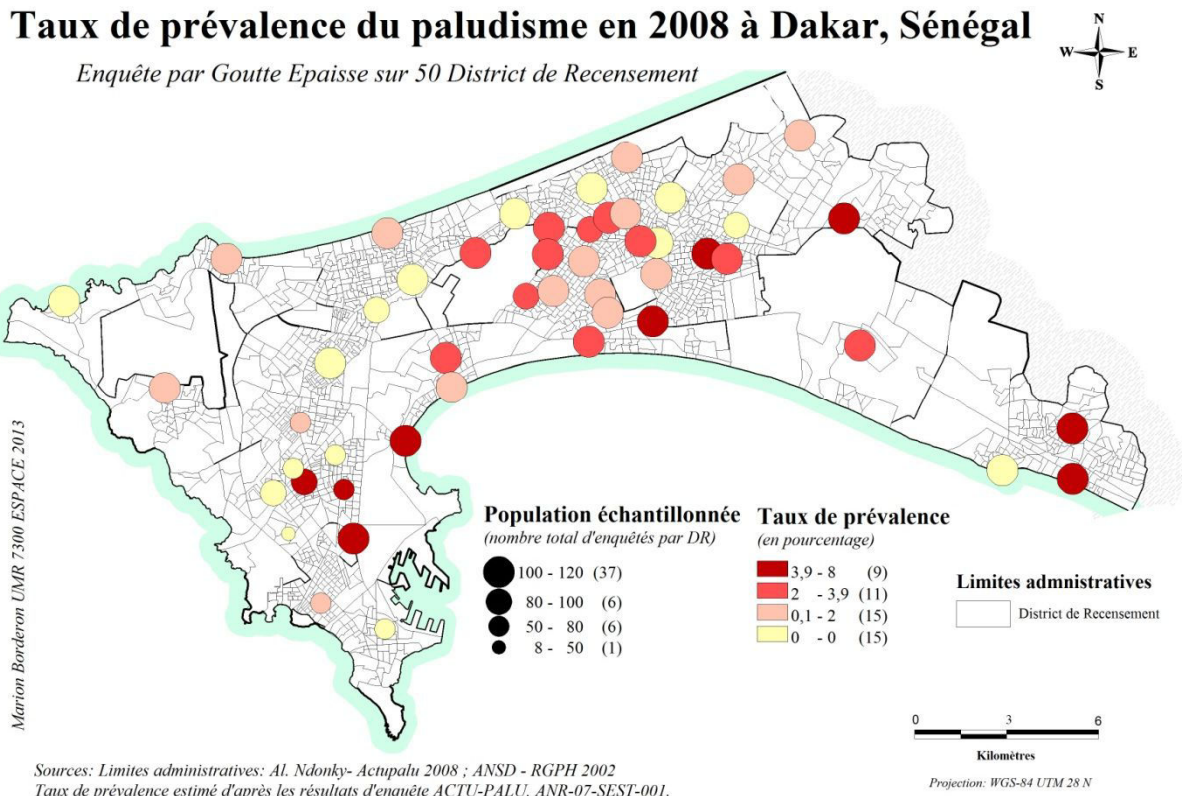
L'aléa est souvent défini par une intensité (pourquoi et comment?), une occurrence spatiale (où ?) et temporelle (quand ?, durée ?) (Dauphiné, 2001). L'intensité va traduire l'importance du phénomène. Dans notre cas, elle correspond à une infection au *Plasmodium* par une piqûre de moustique vecteur, plus ou moins dangereuse en fonction du parasite. La dimension temporelle pourrait correspondre au degré et à la durée d'exposition aux populations vectorielles. Plus elles sont nombreuses et permanentes dans le temps, plus la probabilité d'être piquée est forte. Enfin, l'occurrence spatiale correspond justement à la localisation des espèces vectrices. Elle apparaît comme une vulnérabilité du territoire qui se transmet aux populations qui y résident. L'aléa et la vulnérabilité se chevaucheraient à cet endroit-là et désigneraient les hotspots de risque du phénomène étudié.

Dans l'idée de tester le bien-fondé de ce postulat, nous avons utilisé une variable issue des données d'enquêtes ACTUPALU<sup>88</sup> que nous avons déjà présenté dans le chapitre 1 et qui est décrite dans le chapitre 8: le taux de prévalence du paludisme dans 50 sites d'enquêtes de l'agglomération de Dakar. Cette variable est cartographiée ci-dessous.

---

<sup>88</sup> Pour avoir plus de détails sur le contexte de l'enquête ACTUPALU, se référer à l'annexe 3.

**Figure 50 : Le taux de prévalence de paludisme entre septembre et décembre 2008 chez les femmes et les enfants dans les 50 sites d'études ACTUPALU**



A la lecture de la carte, il ne semble pas du tout évident de procéder à un commentaire sur les inégalités de prévalence dans les DR enquêtés. Aucune structure spatiale n'est clairement identifiable et cela pourrait justement s'expliquer par la complexité des facteurs qui interviennent dans la distribution géographique du taux de prévalence et son explication. Ce taux de prévalence, distribué dans 50 sites dont 15 semblent exempts de porteur asymptomatique, ne nous permet pas de tester des corrélations avec le taux d'agressivité anophélien ou encore l'axe F1 de l'ACP sur les variables des données censitaires. Cependant, certains tris croisés peuvent nous renseigner sur les effets des données entomologiques et celles des données sociales sur ce taux de prévalence. Nous avons simplifié au maximum les données que l'on détient : deux catégories de vulnérabilité sociale, deux catégories de risque entomologique<sup>89</sup>. Nous avons regardé comment ces modalités pouvaient jouer sur le taux de prévalence.

<sup>89</sup> Les deux variables ont été binarisées afin de limiter la distribution des 50 sites selon un nombre trop conséquent de modalités.



**Tableau 10 : Croisements entre la typologie de vulnérabilité, le risque de piqûres et le taux de prévalence**

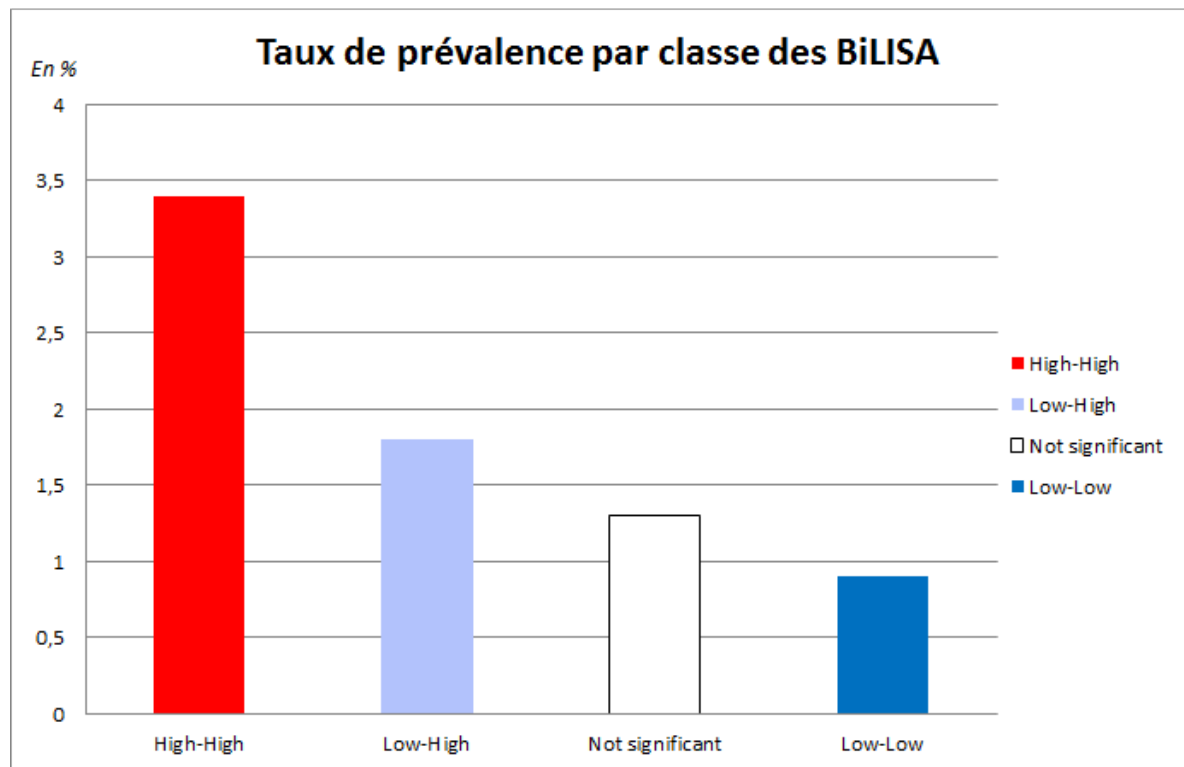
		VULNÉRABILITÉ SOCIALE		
		Forte	Faible	Total
TAUX D'AGRESSIVITÉ	Faible	1,6	1,8	1,6
	Haut	3,7	1,8	2,8
	Total	2,0	1,8	1,9

*Les résultats expriment, en pourcentage, le taux de prévalence pour chacune des catégories*

Prise séparément, la distance géographique représentée par les données entomologiques ou la distance sociale représentée par la typologie de vulnérabilité sociale ne jouent pas directement sur le taux de prévalence. Ces deux éléments sont nécessaires mais non suffisants à une épidémie palustre puisque, considérer ensemble, ces deux indicateurs influencent cette dernière. En effet, lorsqu'il y a un risque entomologique élevé et que l'espace considéré est celui de populations très vulnérables, le taux de prévalence est multiplié par deux et avoisine 3,7%. Le risque de paludisme-infection semble donc bien le fruit de la rencontre entre la vulnérabilité des territoires (la distance géographique) et celles des individus (la distance sociale).

Enfin, nous avons utilisé le taux de prévalence avec les résultats de LISA bivarié, afin de se demander si les clusters spatiaux des hautes valeurs du taux d'agressivité et de la vulnérabilité pouvaient correspondre à une estimation intéressante des hotspots de paludisme-infection en ville. Nous nous sommes servis de ces données pour vérifier si les DR en rouge formaient bien une sorte de piège spatial à "vulnérabilité" (en référence aux pièges spatiaux à pauvreté de Jalan & Ravallion, 1997). Recalculant le taux d'infection palustre pour chaque catégorie d'association spatiale (en figure 51), les résultats sont probants : le taux d'infection palustre en 2008 dans les zones 'rouges' est cinq fois plus élevé que dans les zones 'bleues foncées' et dépasse la moyenne du taux de prévalence à l'échelle de l'agglomération qui est de 2% contre 3,4% dans ces espaces. Le taux de prévalence des zones 'bleues foncées' est inférieur à 0,5 et est donc quatre fois plus faible que la moyenne.

**Figure 51 : Le taux de prévalence des DR enquêtés selon la typologie des BiLISA**



Nous avons 50 sites, composés de 120DR qui ont été enquêtés en 2008 et dont on peut suggérer que le taux de prévalence puisse être un de leur attribut, c'est-à-dire représentatif de la situation des femmes et des enfants dans le DR.

Si les données de prévalences issues de cette enquête ne permettent pas d'obtenir plus d'information à l'échelle des districts, il serait intéressant de porter notre attention sur les possibilités de comprendre quels facteurs autres que la vulnérabilité sociale et le taux d'agressivité anophélien pourraient jouer un rôle dans la géographie du paludisme-infection en ville. Si nous avons, par exemple, pris en compte l'exposition au nombre de piqûres anophéliennes par district, nous avons simplement estimé que les populations résidentes dans ce district, sont sujettes à ce taux d'agressivité moyen. Or cette exposition résidentielle serait sans doute relativiser par un comportement de mobilité, s'il y a. Dans le cas du paludisme, les effets de la mobilité des individus ont longtemps été considérés comme un facteur négligé dans l'étude des maladies (Prothero, 1977). Leur vulnérabilité et exposition aux piqûres sont souvent construites d'après leur lieu de résidence, et les déplacements qui les exposent à un environnement différent sont compliqués à comptabiliser (Martens & Hall, 2000). L'utilisation aujourd'hui des données de téléphonie mobile sont par exemple un moyen potentiel d'identifier les dynamiques de mobilité des hôtes porteurs de *Plasmodium* qui sont responsables de la diffusion du parasite d'un espace à un autre (Wesolowski et al., 2012). Ces considérations reprennent de fait, l'interrogation posée par Howe dans les années 80 : « Does it matter where I live ? » (Howe, 1986) ou bien l'explication du risque épidémiogène est à chercher ailleurs ? En outre, nous avons discuté de la vulnérabilité sociale ou distance sociale

à l'échelle du district et non à l'échelle de l'individu. Quelle est la part de variabilité individuelle qui pourrait modérer ce poids de la vulnérabilité sociale ? Sont-ce des situations identiques d'être vulnérable socialement parmi les populations vulnérables ou de l'être parmi des populations aux contextes plus aisés ? A l'aide des données ACTUPALU, nous proposons de descendre à l'échelle individuelle afin de compléter notre tableau sur les composantes et caractéristiques du paludisme-infection dans l'agglomération Dakaroise.



## CHAPITRE 8. Echelle individuelle, échelle agrégée : quelles distances sociales dans le risque palustre?

---

Les interrogations soulevées jusqu'à présent, se sont rassemblées autour d'une hypothèse générale quant à l'existence d'une distance sociale modulatrice du risque de paludisme-infection. A l'échelle agrégée, celle des districts, nous avons souligné la dépendance existante entre la distance spatiale et sociale, créant des espaces d'interaction entre l'hôte et le vecteur caractérisés par un taux de prévalence en moyenne plus élevé. Le poids de cette distance sociale dans la probabilité d'être victime d'une infection palustre semble indéniable. Qu'en est-il à l'échelle de l'individu ? Ses caractéristiques sociales individuelles jouent-elles un rôle sur son statut de porteur ou non de parasites ? Cela s'ajoute-t-il à une influence des caractéristiques sociales de son entourage ? Il pourrait y avoir un effet combiné des deux, telle une double distance sociale imbriquant un "qui suis-je" avec un "avec qui suis-je". Il semble donc pertinent de tester les caractéristiques de vulnérabilité individuelle indépendamment de leur contexte puis, d'élaborer une méthode de comparaison prenant en compte les deux, c'est-à-dire prenant en compte tant l'effet de composition que l'effet de contexte (Philibert & Riva, 2011).

Pour ce faire, nous utilisons des données issues d'une enquête transversale. Ces données primaires, portées sur près de 5000 individus de l'agglomération Dakaroise, appartiennent à une enquête épidémiologique ayant eu pour objectif de comprendre les stratégies thérapeutiques de lutte contre le paludisme dans l'agglomération de Dakar. N'ayant pas été directement impliquée dans cette collecte de données primaires qui a eu lieu avant l'entreprise de ces travaux de thèse, nous avons choisi de décrire l'enquête dans l'annexe 3. Cependant, puisque certaines informations sont primordiales pour la compréhension, l'utilisation de ces données et l'interprétation *a posteriori* des résultats de leurs analyses, nous avons souhaité en préciser certains aspects.

### 1 Taux de prévalence et résultat de goutte épaisse : descriptif de la variable

Si le projet ACTUPALU s'est centré sur des aspects comme le recours aux soins qui n'abordent pas la thématique du paludisme de la même manière que dans nos travaux, nous avons tout de même pu identifier un certain nombre de matériaux à utiliser, qui ont été collectés dans ce cadre. La partie du projet portant sur la mesure du taux de portage asymptomatique de *Plasmodium*<sup>90</sup>, dans un contexte où de nouvelles stratégies en matière de

---

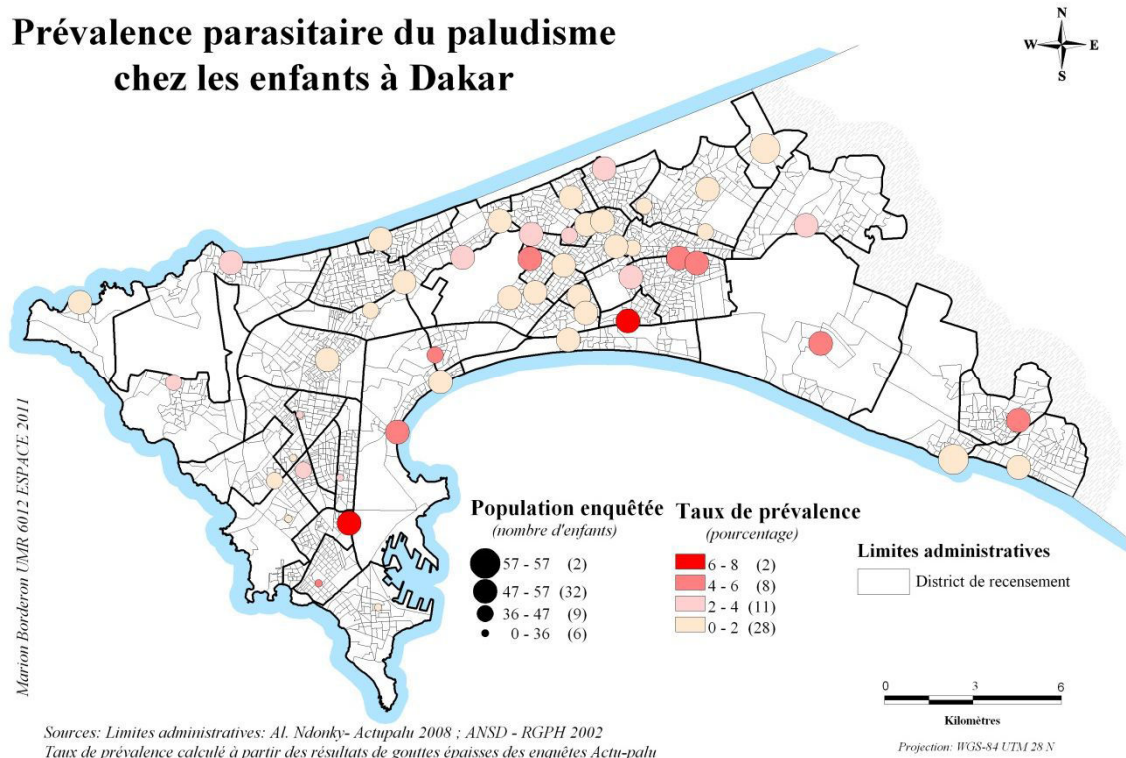
<sup>90</sup> Comme nous l'avions déjà souligné dans le chapitre 1, il faut distinguer "paludisme-infection" de "paludisme maladie" (Danis & Mouchet, 1991). Le "paludisme-infection" signifie que l'individu est porteur asymptomatique de parasites. C'est ce qui a été mesuré ici. Le fait d'héberger des parasites ne signifie pas automatiquement être malade, si l'individu dispose d'une certaine prémunition.

gestion de paludisme clinique ont été mises en œuvre ces deux dernières années, nous a principalement intéressée. Dans ce cadre, un taux de prévalence des 50 sites d'études de l'enquête, a pu être estimé par la collecte de prélèvement sanguin sur des femmes adultes et des enfants entre 0 et 10 ans. Nous l'avons déjà utilisé précédemment de manière globale (les résultats n'ont pas différencié le taux de prévalence des femmes ou des enfants).

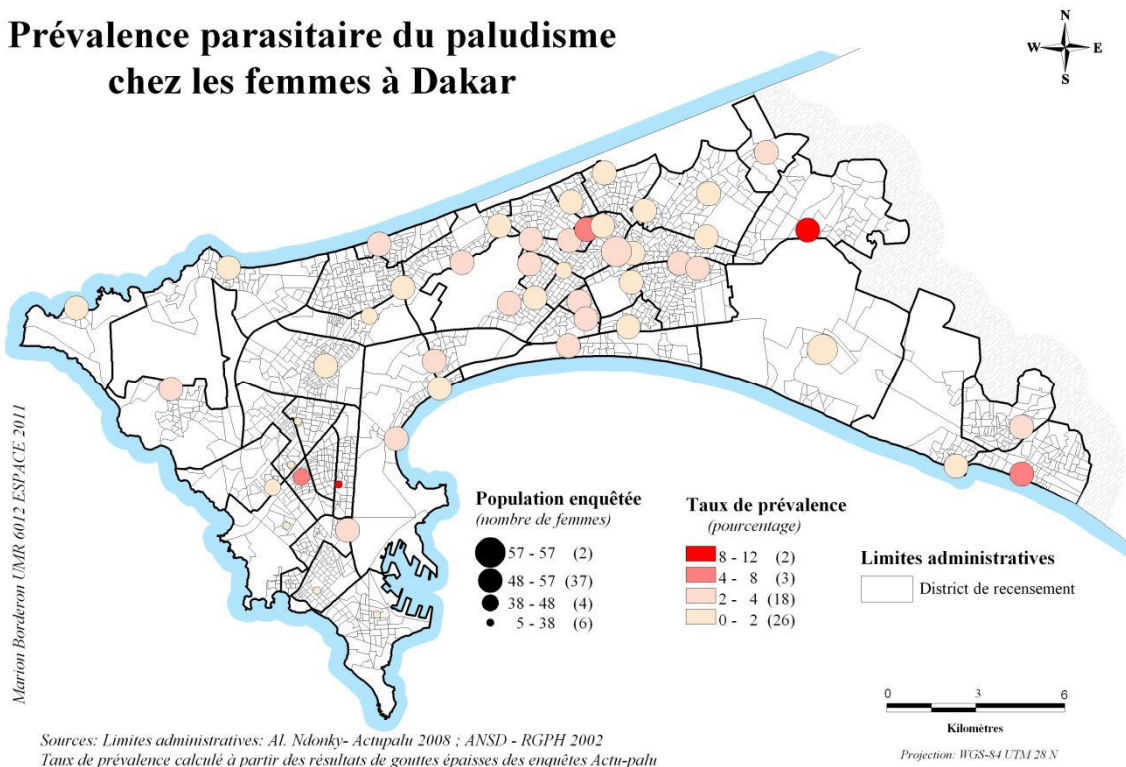
Ces données de prévalence, qui sont l'agrégation des résultats de Goutte Epaisse (GE), nous servent à présent à étudier les déterminants socio-spatiaux du risque d'exposition au paludisme urbain. Pour ce faire, nous utilisons cette fois-ci les données à l'échelle individuelle. C'est en questionnant le résultat des gouttes épaisses des individus que nos questionnements sur l'influence de la distance sociale sont explorés. Nous souhaitons cependant rappeler que par le caractère transversal de l'enquête, aucune dimension temporelle n'est envisagée. Cela explique qu'à l'échelle agrégée, les résultats de goutte épaisse permettent de calculer des taux de prévalence et non des taux d'incidence. Les changements épidémiologiques, l'émergence de nouveaux cas ou leur déclin ne peuvent pas être étudiés en tant que tels. Cela signifie également que si les analyses croisées des données collectées au cours de cette enquête transversale permettent d'identifier des facteurs de risque, elles ne peuvent toutefois les rendre interprétables directement en termes de causalité. Les associations entre le portage asymptomatique de *Plasmodium* et les caractéristiques recueillies à un instant t et considérées comme des facteurs d'exposition ne renseignent pas sur la durée et l'intensité des liens.

De plus, les cartes suivantes permettent également de faire un point critique sur la taille finale de l'échantillon.

**Figure 52 : Le taux de prévalence de paludisme entre septembre et décembre 2008 chez les enfants dans les 50 sites d'études ACTUPALU**



**Figure 53 : Le taux de prévalence de paludisme entre septembre et décembre 2008 chez les femmes dans les 50 sites d'études ACTUPALU**



Lors de la passation du questionnaire et de la réalisation des tests de goutte épaisse, les enquêteurs ont rencontré plus de difficulté d'accès et de refus dans les ménages des quartiers résidentiels aisés de la commune de Dakar. Le nombre de ménages échantillonnés dans ces zones situées à proximité du centre-ville est ainsi plus restreint. Il est à noter que cette strate de la population : jeunes femmes adultes ou enfants issus des ménages aisés du centre-ville, peut être sous-représentée dans les données.

Les données ont été récoltées sur trois mois. Le taux de prévalence a été respectivement calculé et comparé par mois et ne comprend pas de variation forte (respectivement 2,10%, 2,15% et 1,95% pour octobre, novembre et décembre. Les taux ont également été calculés par catégorie d'âge des femmes et des enfants et là encore, aucune différence n'était significative (Diallo et al., 2012a). Si on en revient à présent à la donnée individuelle, celle des résultats du test de la goutte épaisse, notre première question a porté sur l'intérêt de distinguer nos hypothèses et questionnements pour les deux groupes enquêtés : les femmes adultes et les enfants entre 2 et 10 ans. Puisque les gouttes épaisses ont été réalisées sur un enfant et une femme de chaque ménage ayant accepté de se prêter à l'enquête, les données peuvent être considérées comme appariées. En effet, cela revient à disposer de deux résultats de goutte épaisse portant sur le même échantillon, c'est-à-dire ici le ménage. Un traitement global des données biaiserait les résultats. Nous avons choisi de dédoubler en deux groupes les traitements et les résultats.

Enfin, nous avons lié les données issues de l'enquête transversale socio-démographique (le questionnaire ménage) avec les données épidémiologiques de goutte épaisse associées à leur questionnaire individuel. Nous avons considéré *de facto* les caractéristiques socio-économiques du ménage comme des attributs individuels de l'enquêté appartenant à ce ménage. Avant d'analyser en détails les effets du statut socio-économique du ménage sur le portage asymptomatique de *Plasmodium* des individus, nous avons voulu questionner les liens pouvant exister entre les résultats des gouttes épaisses des femmes et ceux des enfants. Un enfant dont la mère est infectée a-t-il une probabilité plus grande de l'être également?

### 1.1 De l'individu au ménage : description et lien des résultats des tests femme-enfant

La séparation des résultats de goutte épaisse chez les femmes adultes et les enfants nous donne les résultats suivants :



**Tableau 11 : Résultat du test de goutte épaisse pour les femmes et les enfants entre 2 et 10 ans**

Goutte épaisse Enfants	Fréquence	Pourcentage
Négatif	2183	97,85
Positif	48	2,15
	Effectif total (2231)	
Goutte épaisse Femmes	Fréquence	Pourcentage
Négatif	2378	97,98
Positif	49	2,02
	Effectif total (2427)	

La constatation première à la vue de ces deux variables, est le fort déséquilibre entre leurs deux modalités. Il y a en effet très peu de goutte épaisse positive, que ce soit chez les femmes ou les enfants, dans l'échantillon. Le paludisme urbain reste en effet un phénomène présentant des taux de prévalences moins élevés par rapport à certaines zones rurales. Cependant, le taux de prévalence est bien loin d'être négligeable et dans une capitale d'environ de 3 millions d'habitants, une moyenne de 2 % de prévalence pourrait signifier plus de 60000 porteurs - si on considère que toute la population est soumise à cette moyenne. Nous n'avons dans l'enquête, qu'une représentation de la situation chez les femmes et les enfants. L'intérêt est de connaître le profil de ces femmes et enfants hôtes réservoirs de *Plasmodium*, afin de comprendre et d'évaluer le risque d'épidémie palustre dans des conditions environnementales favorables à la transmission, comme l'hivernage. D'un point de vue statistique, le déséquilibre dans la distribution de ces variables bimodales a pour conséquence de réduire d'emblée les ambitions de modèle complexe, utilisant de nombreuses variables explicatives. Il est donc important dans l'élaboration de notre méthode de garder en tête ce problème dit "de petits effectifs" et de se garder d'utiliser des techniques qui ne s'y prêtent pas.

Concernant le lien entre les résultats des tests pour nos deux groupes, nous avons d'abord regardé à l'échelle du ménage, la fréquence de ceux qui présentent 0, 1 ou 2 individus enquêtés infectés. Sans surprise, les effectifs sont très inégaux (2861 ménages n'en contiennent pas, 85 en contiennent 1 et 6 seulement sont concernés par un taux de portage positif tant chez l'enfant que l'adulte féminin enquêté). Bien que cela réduise les possibilités d'explorer un lien entre les deux groupes, nous avons tout de même cherché à souligner si le statut infecté des enfants et celui du membre adulte du ménage étaient liés. Pour ce faire, nous avons regardé le lien entre la variable goutte épaisse enfants et goutte épaisse adulte féminin. Les deux variables étant binaires (infecté/non infecté), nous avons utilisé le coefficient phi dit "coefficient moyen de contingence carré" et désigné par  $\phi$  (ou  $r\phi$ ). Cette mesure d'association entre deux variables binaires a été introduite par Karl Pearson (Cramer, 1946) et s'interprète de la même façon que le coefficient de corrélation de Pearson.

$$\phi^2 = \frac{\chi^2}{n}$$

Le carré du coefficient Phi est lié à la statistique du chi carré pour une table  $2 \times 2$  de contingence (voir le test du chi carré de Pearson) où  $n$  est le nombre total d'observations (Everitt, 2002).

**Tableau 12 : Résultat de l'association entre l'état infecté des enfants et des femmes appartenant au même ménage**

Etat infecté enfants	Etat infecté femmes		Total
	0	1	
0	1868	36	1904
1	36	6	42
Total	1904	42	1946

Pearson  $\chi^2(1)=29,8974$  Pr=0,000

Phi=Cohens's w=fourfold point correlation=0,124

Dans les conditions de l'enquête, il semble qu'il ne soit pas possible d'observer un lien très évident entre le statut infecté de l'enfant et celui de sa mère ou du membre du ménage féminin qui lui est proche. Cependant, selon les résultats du test, l'association entre le statut des femmes et celui des enfants semblerait exister, mais faiblement. L'indépendance des états infectés des enfants et des femmes du même ménage (parfois l'adulte enquêté est la mère de l'enfant) est donc rejetée, mais nous ne pouvons en dire plus sur les caractéristiques de cette dépendance. Ces résultats et l'appartenance de chaque paire d'individus à un seul ménage confirme que les hypothèses et les analyses de recherche doivent être distinguées pour chacun des groupes. D'un point de vue épidémiologique, il est également raisonnable d'ajuster les données par l'âge et le sexe (pour les enfants cependant, le sexe n'est pas différencié). Ce constat de séparation des analyses étant justifié, nous nous intéressons à présent aux choix des variables qui pourraient influencer le statut infecté des populations enquêtées.

## 2 Et du côté des variables explicatives? Justification des données retenues

Deux éléments majeurs ont dirigé nos choix de variables à retenir et à tester, pour expliquer le statut infecté des individus. Le premier élément provient des résultats des épidémiologistes du programme ACTUPALU qui ont examiné les facteurs de risque individuels dans la compréhension du statut infectieux. Ces résultats nous permettent de faire un premier tri des variables que nous conservons à l'échelle individuelle. Le second élément se base sur nos propres résultats des analyses exploratoires effectuées sur les variables du questionnaire ménage. Nous avons notamment cherché à réduire et synthétiser les différentes informations qui ont été collectées au niveau du ménage par la création d'un indice synthétique du niveau de vie.

## 2.1 Les résultats de l'enquête épidémiologique : zoom sur la mobilité des enfants

Les résultats obtenus par l'équipe d'épidémiologiste d'ACTUPALU nous ont servi de référence à nos propres analyses. Il est en effet peu pertinent de ré-explore les liens entre le statut infectieux et ses déterminants possibles, alors que cela avait déjà été fait en amont. Ces résultats sont résumés dans une publication collective, à laquelle nous avons participé (Diallo et al., 2012a). Cette étude du portage du *Plasmodium* réalisée sur les 4658 individus de l'échantillon, a ainsi montré que le parasite est présent dans l'agglomération Dakaroise avec des variations notables entre les sites enquêtés. L'utilisation du test de la goutte épaisse, s'il a tendance à sous-estimer la charge réelle de parasite, est un indicateur robuste du taux de prévalence minimum dans l'agglomération. L'analyse a concerné 2427 femmes et 2231 enfants, qui ont été considérés séparément. L'âge moyen des femmes était de 35,6 années. L'âge moyen des enfants était de 5,4 ans. La prévalence du parasite était de 2,01% (49/2427) chez les femmes et de 2,15% (48/2231) chez les enfants. En analyse multivariée, les rapports d'un épisode de paludisme en 2008 a été associé à un portage de *Plasmodium* (Odds Ratio (OR) = 2,57 ; P = 0,002) chez les femmes ; tandis que chez les enfants, un épisode de paludisme (OR = 6,19 ; P=0,001) et un voyage hors de Dakar lors des trois derniers mois (OR = 2,27 ; P = 0,023) ont été associés à un portage de *Plasmodium* (voir tableau ci-dessous). Parmi les gouttes épaisses positives, 95,8% (93/97) étaient positives par test de la réaction en chaîne par polymérase (PCR). Parmi les gouttes épaisses négatives, 13,9% (41/293) étaient positives par PCR. Lors de l'analyse des taches de sang, 15,2% (76/500) étaient positives par PCR. Il a donc été estimé à 16,5% le taux de la prévalence du parasite si les enquêtes avaient été effectuées par PCR. Cela confirme que le test de la goutte épaisse sous-estime la charge réelle de parasite mais reste un "gold standard" pour l'estimation du taux de prévalence minimum dans l'agglomération.

**Tableau 13 : Descriptif du modèle logistique pour les enfants issus des résultats ACTUPALU**

Covariates	Class	Positive(N)	Univariate analysis		Multivariate (final model)	
			OR**	P***	OR**	P***
Sex	Male	24(1090)	1		1	
	Female	24(1141)	0.95	0.873	1.03	0.918
Age (years)	<5	24(1182)	1		1	
	>= 5	24(1045)	1.13	0.666	1.02	0.95
Malaria episode in 2008	Yes	33(824)	3.87	<10 <sup>-3</sup>	6.19	<10 <sup>-3</sup>
	No	15(1403)	1		1	
Bed net	Yes	20(922)	1.19	0.571	*	
	No	22(1206)	1			
Travel	Yes	11(304)	2.18	0.029	2.27	0.023
	No	31(1832)	1		1	

\*: covariates not introduced in the final model, OR.

\*\* : Odds Ratio, P.

\*\*\*: p-value, N: Sample size in each class.

doi:10.1371/journal.pone.0031100.t003

Nous retenons l'importance de la mobilité chez les enfants, répondant ainsi à une interrogation que nous avons eue concernant l'exposition résidentielle dans nos analyses à l'échelle du district, tandis que les variables concernant le fait de dormir sous moustiquaires ont par exemple été écartées, étant non significatives tant chez la femme adulte que chez les enfants.

De surcroît, notre objectif majeur est d'examiner le rôle des caractéristiques socio-économiques des populations et de leur environnement social sur le fait d'être porteur ou non de *Plasmodium*, ce qui n'a, dans ces modèles, pas encore été discuté. Nous avons associé ces données épidémiologiques issues du questionnaire individuel à leurs données contextuelles respectives : celle du ménage.

## 2.2 Les variables du questionnaire ménage : analyses descriptives des données susceptibles d'influencer le portage asymptomatique de parasite

La première étape a été de lister les variables disponibles issues des questionnaires ménages, susceptibles de nous intéresser. Le tableau suivant récapitule ces variables. Nous avons écarté de notre sélection toutes les variables qui prenaient en compte la perception du niveau de vie par le chef de ménage enquêté. Nous avons cherché en effet à nous approcher au maximum d'un indicateur du niveau de vie le plus objectif qui soit. Si la subjectivité peut avoir son intérêt dans des études sur la pauvreté et sa complexité (Minvielle et al., 2005), elle nous semblait compliquer notre objectif de réalisation d'un indicateur synthétique de niveau de vie dans un contexte où notre marge de manœuvre pour comprendre la distribution des états infectieux de la population échantillonnée est restreinte. Des variables supposées plus objectives ont donc été retenues, telles que celles d'écrivant les conditions matérielles d'existence et le niveau d'éducation. Il est entendu que dans ce contexte, l'estimation du revenu moyen du ménage est très difficilement estimable, compte tenu des rentrées d'argent informelles.

**Tableau 14 : Listes des variables d'intérêt au niveau du ménage dans l'étude du portage asymptomatique de *Plasmodium* chez les enfants de 2 à 10 ans et chez les femmes**

Variables explicatives potentielles	Modalités <sup>91</sup>
<b>VARIABLES MENAGES</b>	
Variables indicatrices du niveau de vie des ménages	
Type de parcelle	Lotie Non lotie
Nombre de ménage dans la concession	Multi-ménages Un seul ménage
Nature du matériau toit	Tôle galvanisée/métal/fer-blanc/zinc Tuiles/ardoises Dalles en ciment

<sup>91</sup> Les modalités "autres" et "ne sait pas" ne sont pas précisées ici. Présentant des effectifs quasi-nuls, elles n'ont d'ailleurs pas été prises en compte dans les analyses ultérieures.

	Bois/boue/terre Chaume/paille/feuilles
Nature du matériau utilisé pour les murs	Pierres/briques Bois Boue/terre/sable/banco Paille Tôle
Nature du matériau utilisé pour le sol	Carrelage/tuiles Ciment Bois Boue/terre battue/sable Moquette
Nature des fenêtres du bâtiment	Encadrement+vitres Volets en bois ou en fer seulement Un trou seulement (avec rideaux éventuellement)
Principal mode d'approvisionnement en eau du ménage	Robinet eau à l'intérieur du logement Robinet eau à l'extérieur du logement Puits Borne-fontaine collective Vendeurs d'eau Chez le voisin (robinet)
Principal mode d'éclairage du ménage	Electricité Plaque solaire Gaz Groupe électrogène Lampe à pétrole Bougie Lampe à huile Lampe à pile
Détention d'une cuisinière à gaz électrique	Aucune Une Deux
Détention d'un climatiseur	Aucun Un Deux Plus de deux
Détention d'une voiture	Aucune Une Deux Plus de deux
Détention d'un ordinateur	Aucun Un Deux Plus de deux
Détention d'un réfrigérateur	Aucun Un Deux Plus de deux
Niveau d'instruction de la mère de l'enfant enquêté	Aucun Ecole coranique seulement Ecole arabe primaire Ecole arabe secondaire Ecole arabe supérieure Ecole française primaire

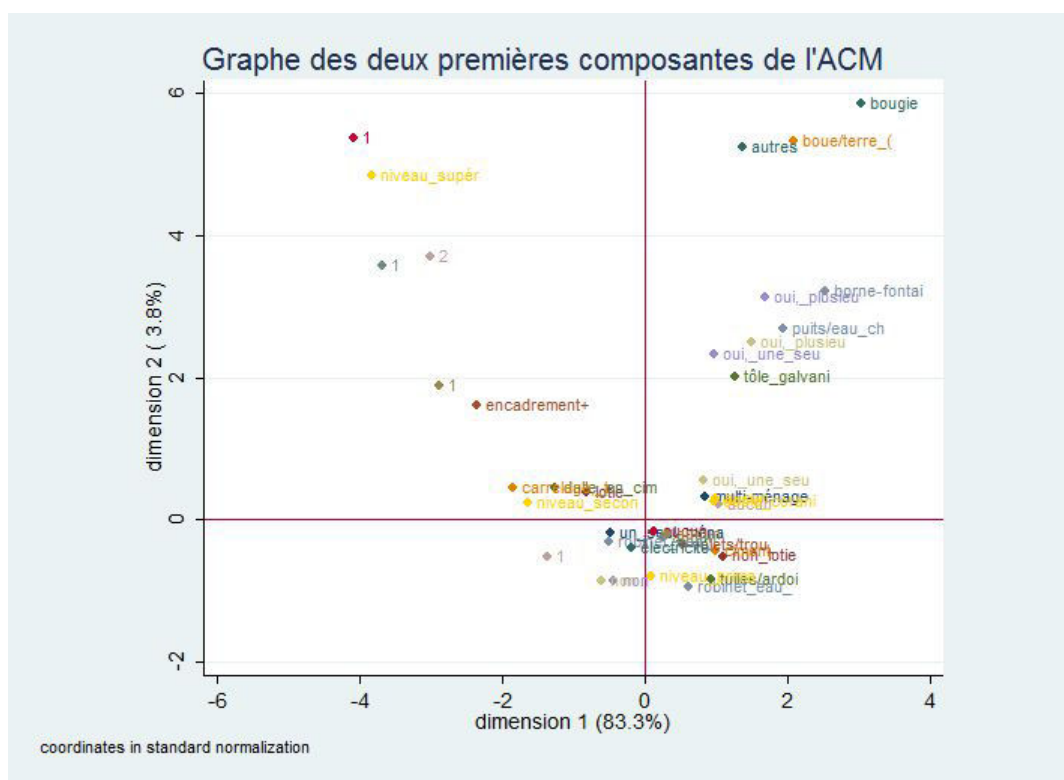
	Ecole française secondaire Ecole française supérieure
Un membre du ménage n'a pas pu se faire soigner au cours des 6 derniers mois par manque de ressources	Oui, une seule fois Oui, plusieurs fois Non
Il n'a pas été possible de faire la cuisine au moins une fois au cours des 6 derniers mois par manque de ressources	Oui, une seule fois Oui, plusieurs fois Non

Une critique qui pourrait être portée sur l'enquête ACTUPALU concerne la longueur des questionnaires. Répondre de manière naturelle et intéressée à un questionnaire, en particulier lorsque celui-ci est long, requiert un certain effort. Or la totalité de l'enquête pour chaque ménage pouvait avoisiner 3 heures. Si les questionnaires étaient organisés par thème afin que l'enquêté puisse s'y retrouver, nous avons aussi été vigilante dans le choix des variables choisies pour la création de notre indicateur synthétique. Nous avons notamment écarté le volet "dépense" qui semblait le plus propice aux erreurs de concentration et rendait difficile l'utilisation de ces variables quantitatives. Il avait déjà été souligné lors de la passation des questionnaires tests que ce module "Ressources monétaires et dépenses" s'est avéré beaucoup trop long et propice à des réponses approximatives et biaisées (Extrait du premier rapport scientifique d'ACTUPALU, 2008). Ces variables choisies, nous avons suivi une méthode classique permettant de synthétiser leur information au sein d'un indicateur composite du niveau de vie des ménages.

#### 2.2.1 Création d'indice synthétique : regrouper les variables socio-économiques

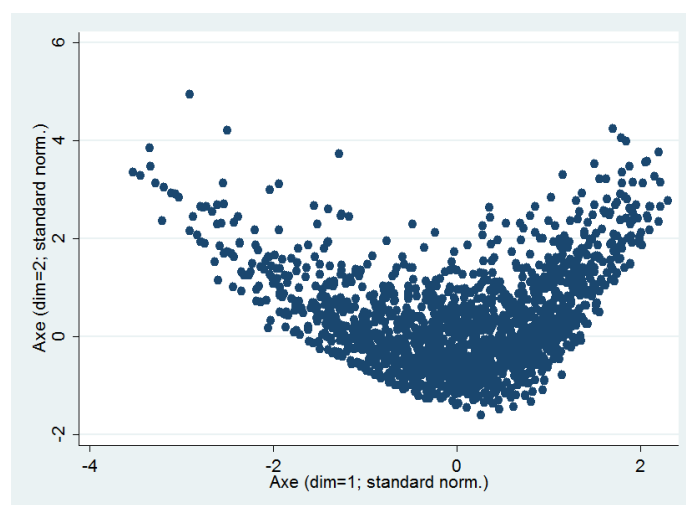
Afin de synthétiser l'information contenue des variables sélectionnées précédemment concernant les conditions de vie du ménage, nous avons réalisé une Analyse en Composantes Multiples (ACM), suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Cependant, l'ACM étant sensible aux effectifs faibles et donc aux nombres conséquents de modalités par variable, nous avons regroupé, lorsque cela était possible, certaines modalités de variables qui allaient dans le même sens logique pour une traduction du niveau de vie du ménage. Ainsi la variable sur la nature du toit par exemple, est recodé en deux catégories seulement : la tôle, les maisons de bois/boue/terre, les maisons en chaume/paille ou feuille d'un côté, et les maisons avec un toit en tuiles/ardoises ou en ciment de l'autre. La plupart des variables ont ainsi été recodées en deux ou trois modalités. Nous avons finalement effectué l'ACM sur 16 variables et 36 modalités.

**Figure 54 : Description de l'ACM**



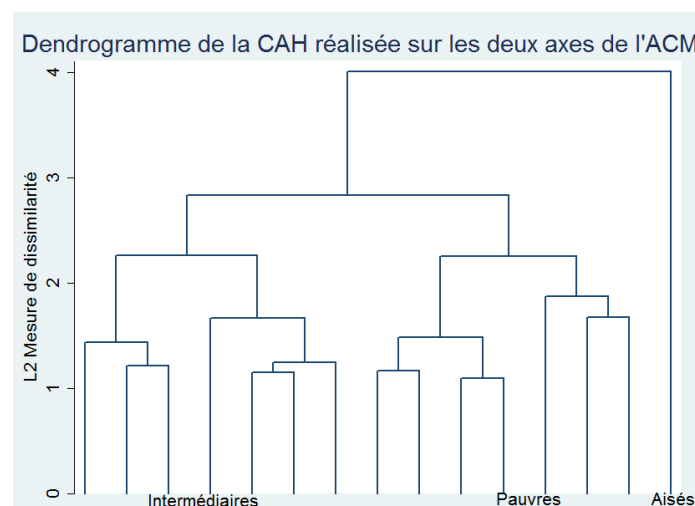
La distribution des modalités des variables en parabole, correspond à un effet Guttman. Dans une analyse factorielle, ce phénomène « apparaît lorsqu'il existe une structure d'ordre à la fois sur l'ensemble des lignes et sur celui des colonnes et que ces structures sont associées » (Escofier & Pagès, 2008, p. 231). On observe que le premier facteur a une valeur propre très élevée, épuisant à lui seul plus de 80 % de l'inertie totale du nuage. On a accordé une grande importance à l'étude de la contribution des individus et modalités à l'inertie de ce facteur. Le nuage de point des individus entre l'axe factoriel 1 et 2 est représenté ci-après.

**Figure 55 : Nuage de point des individus entre F1 et F2**



Le type de distribution observée, l'effet Guttman, s'appuie sans doute sur le classement des individus en fonction des modalités qui sont finalement ordonnées dans un sens "aisé", "intermédiaire", "pauvre". En effet, par la projection du nuage sur le premier plan factoriel, on obtient un nuage en forme de croissant enroulé autour de l'origine du repère. Cet effet s'interprète de la sorte : l'axe principal oppose les extrêmes, alors que l'axe n°2 oppose les individus moyens aux deux extrêmes (Busca & Toutain, 2009). Cela signifie également que la structure sous-jacente (approchée) des données serait celle d'un « ordre total entre les modalités » (Rouanet & Le Roux, 1993, p. 274-275). Le cas échéant, l'effet Guttman associé à la valeur propre prédominante de l'axe F1 auquel, nous l'avons vérifié, toutes les modalités des variables contribuant fortement seraient visibles compte tenu du recodage et de l'ordination de nos modalités. Considérant dès lors que notre axe 1 discrimine très bien les niveaux de vie extrêmes et que l'axe 2 ajoute une petite information sur l'opposition des individus moyens aux deux extrêmes, nous utilisons ces deux axes pour effectuer une classification ascendante hiérarchique.

**Figure 56 : Dendrogramme de la CAH**



Une classification en trois groupes, discrimine les trois niveaux de vie des ménages "aisés" "intermédiaires" et "pauvres". Cependant, le groupe des ménages "aisés" repose sur un effectif très faible. Ce déséquilibre s'explique par un des biais de l'enquête souligné précédemment au sujet de la faiblesse du taux de participation de ces ménages aisés. A cela s'ajoute le fait que ce groupe est déjà de moindre taille dans la population globale de l'agglomération dakaroise, contrairement aux populations plus modestes ou pauvres. Anticipant sur l'utilisation de cette variable synthétique dans nos modèles pour comprendre le portage asymptomatique, nous avons choisi d'écarter ce groupe qui ne nous permettra pas de conclure, par son effectif (21 ménages), sur un effet de ce statut sur l'état infecté ou non infecté des femmes et des enfants. Par croisement avec la variable GE, ce groupe ne comporte en outre aucune femme ou enfant infecté. La variable synthétique créée comprend donc deux catégories, intermédiaires (environ 70% de l'effectif, soit 1960 ménages) et pauvres (15% de l'effectif, soit 420 ménages) parmi les 2800 ménages finalement considérés. En résumé, les



ménages "pauvres" sont caractérisés par le fait d'habiter plutôt dans des concessions avec d'autres ménages, dans des parcelles non loties sur un sol en boue ou en terre battue, avec un toit en tôle galvanisée et sans réseau d'adduction d'eau permettant l'accès à un robinet intérieur. Le principal mode d'éclairage reste la bougie ou les lampes, la part de ménages reliés à l'électricité restent marginale. Pour ce qui est des ménages "intermédiaires", ils ont tendance à détenir un plus grand nombre d'actifs (voitures, cuisinière électrique), leur habitat est relié à l'électricité, à l'eau courante et le niveau d'instruction de la mère de l'enfant qui a été enquêté par goutte épaisse est caractérisé en moyenne par un niveau scolaire secondaire. Le groupe d'individu "aisé", marginal et écarté de notre analyse, est surreprésenté par un niveau éducatif supérieur pour la mère et la détention d'un ordinateur ou de climatiseurs.

A présent, cette variable bimodale sur le niveau de vie du ménage va pouvoir être croisée avec le statut infecté/non infecté des individus et nous permettre de constituer le matériel de base nécessaire à notre hypothèse sur la ou les distances sociales au paludisme-infection. Si la vulnérabilité sociale joue un rôle dans le portage asymptomatique de parasite, est-ce à l'échelle du ménage de l'individu ? Et puisque le paludisme est une infection qui nécessite des hôtes réservoirs, l'entourage social du ménage devrait jouer un rôle conséquent. L'individu évolue-t-il autour d'autres individus qui sont des réservoirs de parasites ? Ce questionnement suggère de regarder le poids socio-économiques des caractéristiques du ménage tout comme celles de son entourage.

### **3 Effet de contexte, effet de composition. "Avoir les moyens" d'un modèle multi-niveau**

Nous voulons tester si les caractéristiques de vulnérabilité à l'échelle de l'individu (en regardant le poids du niveau de vie du ménage auquel il appartient) influent sur le portage de *Plasmodium*, puis regarder si le contexte dans lequel il réside (la vulnérabilité sociale du district) influe également sur son statut infectieux. Ces questionnements sur le jeu des effets de composition (caractéristiques de l'individu) ou des effets de contexte est bien connu des épidémiologistes. Les modèles multiniveaux sont une méthode fréquemment employée pour dresser quelques éléments de réponse (Chaix & Chauvin, 2002 ; Charreire, 2007). Cependant, les limites de nos données, notamment dans le petit effectif de porteurs infectés, rend instable et peu concluant l'utilisation de tel modèle. Nous préconisons l'utilisation d'indicateurs avec un nombre de modalités limitées pour les variables catégorielles et des modèles de régressions logistiques à visée spécifiquement descriptive, comportant un nombre de variables explicatives également limitées. Cela permet d'explorer les liens existants entre les caractéristiques socio-économiques des individus et la probabilité d'être porteur asymptomatique de parasite, tout en reconnaissant les limites inhérentes au matériel disponible. La mesure du contexte n'est donc pas prise en compte à un second niveau, mais elle est indirectement évaluée par un indice de la distance sociale synthétisant l'information du niveau ménage avec le niveau DR, ce qui permet d'éviter l'erreur écologique tout en considérant les différents niveaux de nos données.

### 3.1 Un indice multi-niveau de distance sociale

Nous avons précédemment créé un indice binaire de niveau de vie des ménages, pressentant que cet indicateur puisse influencer le portage asymptomatique de *Plasmodium* des populations enquêtées, les femmes adultes et les enfants entre 2 et 10 ans. Des analyses bivariées préliminaires semblent aller dans le sens de cette hypothèse. Les deux figures suivantes illustrent le rejet de la relation d'indépendance dans les deux cas de figures de l'enquête.

**Tableau 15 : Relation d'indépendance entre le niveau de vie du ménage et le portage asymptomatique chez l'enfant de 2 à 10 ans**

Niveau de vie du ménage	Etat infecté enfants		Total
	0	1	
Pauvre	271	16	287
intermédiaire	1693	25	1718
Total	1964	42	2005

Pearson  $\chi^2(1)=20,8369$  Pr=0,000

Phi=Cohens's w=fourfold point correlation=0,102

**Tableau 16 : Relation d'indépendance entre le niveau de vie du ménage et le portage asymptomatique chez la femme adulte**

Niveau de vie du ménage	Etat infecté femmes		Total
	0	1	
Pauvre	302	9	311
intermédiaire	1836	33	1869
Total	2138	42	2180

Pearson  $\chi^2(1)=1,7963$  Pr=0,180

Phi=Cohens's w=fourfold point correlation=0,0287

Chez l'enfant, l'indépendance entre les deux variables est clairement rejetée mais l'effet d'influence semble de petite taille. Chez les femmes adultes, le lien est moins clair et il est difficile de conclure à un rejet de l'indépendance. On pourrait également interpréter ensemble ces deux résultats. En effet, on peut considérer que l'enfant de moins de 20 ans a généralement vécu dans une diversité de situation moins grande que celle d'un adulte. Autrement dit, la relation à son environnement actuel pourrait être plus représentative que celle de sa mère par exemple, qui peut avoir connu des positions géographiques et sociales plus variées. Ce dernier point expliquerait la moindre relation observée pour les adultes féminines.

Nous nous demandons à présent si le poids d'un contexte social plus vaste, pourrait jouer un rôle plus discriminant encore. Pour ce faire, nous avons pensé à créer une variable dichotomique qui résumerait l'information de l'indicateur "niveau de vie du ménage" avec "le niveau de vulnérabilité sociale du district". Cette nouvelle variable de distance sociale, attribut de l'individu, résume alors les informations à deux échelles. Dans un souci de réduction du nombre de modalités possibles, nous avons souhaité une représentation des catégories suivantes :

**Tableau 17 : Modalité de la distance sociale globale**

Modalité de la distance sociale à deux niveaux	Vulnérabilité sociale du DR (2 modalités)	Niveau de vie du ménage (2 modalités)
1	Haute	Pauvre
2	Haute	Intermédiaire
3	Faible	Pauvre
4	Faible	Intermédiaire

La vulnérabilité sociale du DR a été transformée en variable binaire, considérant l'obligation de perdre sur les détails afin de pouvoir gagner sur une précision globale. Si ce choix requiert une certaine prudence dans l'interprétation, la bonne connaissance de la typologie de vulnérabilité utilisée précédemment, nous a confirmé la logique de regrouper les deux groupes de DR dont les comportements sont les plus différents de la manière suivante : la très faible vulnérabilité sociale à Dakar joint à la vulnérabilité moyenne et les fortes et très fortes vulnérabilités à Dakar et en banlieue regroupées entre elles. Testons à présent l'indépendance entre ce nouvel indice et le portage de parasite.

**Tableau 18 : Relation d'indépendance entre la distance sociale globale et le portage asymptomatique chez l'enfant de 2 à 10 ans**

Distance sociale globale	Etat infecté des enfants		Total
	0	1	
1	<b>399</b> <i>411</i>	<b>21</b> <i>9</i>	<b>420</b> <i>420</i>
2	<b>902</b> <i>895</i>	<b>13</b> <i>19,7</i>	<b>915</b> <i>915</i>
3	<b>91</b> <i>91</i>	<b>2</b> <i>2</i>	<b>93</b> <i>93</i>
4	<b>791</b> <i>785,7</i>	<b>12</b> <i>17,3</i>	<b>803</b> <i>803</i>
Total	<b>2183</b> <i>2183</i>	<b>48</b> <i>48</i>	<b>2231</b> <i>2231</i>

Pearson  $\chi^2(3)=20,1555$  Pr=0,000

*NB : les fréquences représentées en italique dans le tableau correspondent aux fréquences attendues.*

**Tableau 19 : Relation d'indépendance entre la distance sociale globale et le portage asymptomatique chez la femme adulte**

Distance sociale globale	Etat infecté des femmes adultes		Total
	0	1	
1	<b>439</b> 444	<b>15</b> 9,2	<b>454</b> 454
2	<b>962</b> 960,2	<b>18</b> 19,8	<b>980</b> 980
3	<b>103</b> 101,9	<b>1</b> 2,1	<b>104</b> 104
4	<b>874</b> 871,1	<b>15</b> 17,9	<b>889</b> 889
Total	<b>2378</b> 2378	<b>49</b> 49	<b>2427</b> 2427

Pearson  $\chi^2(3)=5,0363$  Pr=0,169

De manière identique aux résultats précédents, l'indépendance est clairement rejetée pour les enfants mais n'est pas très convaincante chez les femmes adultes. A la lecture des tableaux de  $\chi^2$ , il faut tout de même porter une attention particulière aux modalités de la variable dont la répartition est déséquilibrée, notamment celles pour lesquelles les tableaux croisés comportent des effectifs proches de 0. Cet élément peut être à l'origine de problèmes numériques et d'instabilité dans les analyses. Ces problèmes sont évidemment plus fréquents lorsque la taille de l'échantillon est petite.

Du côté des enfants (c'est également un peu marqué du côté des femmes), il est possible de constater, dans la comparaison des fréquences observées et des fréquences attendues, la surreprésentation d'enquêtés infectés dans la catégorie d'une forte distance sociale (forte vulnérabilité sociale du DR, faible niveau de vie). En revanche, il est dommage de ne pouvoir conclure sur une différence entre les catégories "mixtes" : situation intermédiaire du ménage dans un district vulnérable ou vice versa. Les données ne nous permettent pas d'aller plus loin. Nous ne pouvons malheureusement pas discuter sur notre hypothèse d'un lien entre l'effet de contexte et le portage asymptomatique qui jouerait en fonction du niveau de vie des ménages. C'est par exemple ce qu'on aurait pu tester, si l'échantillon avait été plus large, dans un modèle de régression logistique en considérant des variables indicatrices<sup>92</sup> issues de cette variable de distance sociale ou bien en utilisant directement cette interaction inter-niveau entre l'indice du niveau de vie des ménages et la typologie de vulnérabilité sociale du DR. Les interactions inter-niveaux désignent le fait que deux facteurs A et B, de niveaux différents, jouent un rôle sur un phénomène de santé Y de manière à ce que la relation entre A et Y varie en fonction du facteur B. Le constat d'une interaction permet d'identifier les sous-groupes au

<sup>92</sup> La régression logistique s'applique directement lorsque les variables explicatives sont continues ou dichotomiques. Lorsqu'elles sont catégorielles, il est nécessaire de procéder à un recodage. Le plus simple est le codage binaire.

sein desquels l'effet d'un facteur diffère. La notion d'effet propre d'un facteur n'a alors pas de sens puisqu'il n'est pas systématique (Czernichow et al., 2001). Si les résultats suivant sont un peu limités, il semble tout de même possible d'aller un peu plus loin, en revenant juste à l'échelle individuelle. Puisque les analyses bivariées ne permettent pas d'aller au-delà d'un travail de considération des variables une à une, nous pouvons tout de même essayer de mettre en évidence l'existence d'une relation de dépendance entre le portage asymptomatique de parasite et une série de variables explicatives, dont le niveau de vie du ménage. Ce dernier éclairage permettrait de percevoir si cette variable sociale joue un rôle dans le statut infecté des enfants et des femmes adultes, au même titre que la mobilité chez les enfants par exemple.

### 3.2 Prendre ses distances : un choix socialement orienté?

Par un modèle de régression logistique, nous avons testé l'existence d'une relation de dépendance entre le portage asymptomatique de parasite et une série de variables explicatives. Celles-ci ont été présélectionnées au départ selon leur réponse à une relation de dépendance déjà soulignée en analyse bivariée et une reprise des modèles appliquées précédemment dans le cadre de l'analyse par les épidémiologistes d'ACTUPALU. Avant la construction des modèles finaux, nous avons croisé la mobilité des enfants avec le niveau de vie du ménage. Cette mobilité des enfants correspond précisément à "un voyage (comprenant au moins une nuit) hors de Dakar dans les trois derniers mois". 304 enfants sur les 2231 enfants enquêtés ont en effet effectué un voyage de ce type. Dans les résultats présentés par l'équipe ACTUPALU (Diallo et al., 2012a), nous avons vu que la mobilité n'était associée qu'à l'enfant (en effet la même question a été posée à l'adulte féminin enquêté). L'interprétation proposée a été qu'un bon nombre de familles envoient leurs enfants hors de Dakar (souvent dans des villages) pendant les vacances scolaires, correspondant à la saison de l'hivernage. Le risque d'infection peut être plus important en zone rurale (certes selon le lieu<sup>93</sup>), spécifiquement si le séjour est long. Par souci de comprendre si ce comportement de mobilité des enfants pouvait avoir un lien avec le niveau de vie de leur ménage d'appartenance, nous avons testé l'indépendance entre les deux variables. L'hypothèse d'indépendance n'a pas été rejetée. Il est donc intéressant de tester les deux variables dans le même modèle.

Le tableau 20 récapitule les résultats finaux pour le groupe des enfants enquêtés entre 2 et 10 ans. Nous avons décidé de ne présenter que les résultats du modèle pour les enfants. En effet, nous avons pu constater que les variables testées dans le cas des femmes adultes ne présentent pas d'effet significatif. Le niveau de vie par exemple ne peut pas être considéré comme significatif, que ce soit dans l'analyse univariée ou le modèle final, les p-valeurs étant toujours supérieures ou égales à 0,1 et, le cas échéant, l'intervalle de confiance des Odds-

---

<sup>93</sup> Selon les rapports du PNLP de 2008, le sud du Sénégal est toujours assez affecté par la maladie tandis que le nord et les environs de Saint-Louis par exemple en sont quasiment exempt.

Ratio inclus la valeur de référence 1<sup>94</sup>. Aucune exploration n'a donc permis de souligner un facteur de risque chez les femmes de l'échantillon. Il nous faudrait sans doute un échantillon plus vaste et une réflexion plus approfondie sur ce profil d'individus pour pouvoir comprendre et discuter de leurs facteurs de risque du paludisme-infection.

Dans le cas des enfants, le modèle logistique final s'écrit :

$$\text{Logit } P = \alpha + \beta_1 \text{ age} + \beta_2 \text{ sexe} + \beta_3 \text{ voyage} + \beta_4 \text{ niveau de vie}$$

**Tableau 20 : Facteurs de risques de paludisme-infection chez les enfants de 0 à 10 ans issus de la régression logistique**

Co-variables	Modalités	Positifs (N)	Analyse univariée		Multivariée (modèle final)	
			OR et [IC 95 %]	P	OR et [IC 95 %]	P
Age (années)	<5	24(1090)	Référence		Référence	
	>=5	24(1141)	0,7 [0,4-1,4]	0,30	1,6 [0,8-3,2]	0,16
Sexe	Garçon	24(1091)	Référence		Référence	
	Fille	24(1140)	1 [0,5-1,93]	0,87	1,2 [0,6-2,5]	0,5
Voyage	Non	31(1832)	Référence		Référence	
	Oui	11(304)	<b>2,18</b> [1,0-4,5]	<b>0,02</b>	<b>1,9</b> [0,9-4,4]	<b>0,10</b>
Niveau de vie	Intermédiaire	16(287)	Référence		Référence	
	Pauvre	25(1718)	<b>3,99</b> [2,0-7,9]	<b>0,0000</b>	<b>4,2</b> [2,1-8,4]	<b>0,0000</b>

OR : Odds Ratio

P : p-valeur

N : effectifs de l'échantillon

A la suite de l'analyse logistique, un test de Hosmer-Lemeshow a confirmé le bon calibrage du modèle ( $X^2 = 3,42$  ;  $p = 0,75$ ).

Que ce soit en analyse univariée ou dans le modèle additif, les deux variables explicatives influençant significativement le risque de paludisme-infection sont le fait de voyager hors de l'agglomération de Dakar et d'appartenir à un ménage dont le niveau de vie est défavorable. Dans le cas présent, l'âge des enfants et leur sexe ne semblent pas avoir joué de rôle particulier dans la discrimination à l'exposition. Concernant le voyage on peut supposer que l'effet est relativement important ( $OR \approx 2,2$  ; mais il est tout de même à noter que l'intervalle de confiance comprend la valeur de référence 1). On ne peut donc pas raisonnablement assurer par ces résultats que le voyage d'un enfant hors de l'agglomération à Dakar, lors de la saison de l'hivernage, est un facteur de risque certain. Cela pourrait justement être la cible

<sup>94</sup> Il est en effet important de vérifier que l'intervalle de confiance de l'OR exclut cette valeur 1, signifiant alors qu'il n'y a pas d'effet significatif. Plus l'OR est éloigné de 1, plus l'effet du facteur de risque est important.

d'investigations plus poussées et être l'objet d'un intérêt à part entière dans les études sur le paludisme en milieu urbain et la circulation du réservoir de parasite venant de l'extérieur. Enfin, notre hypothèse sur l'importance du "social" dans le paludisme-infection se confirme à l'échelle individuelle, dans le cas de cet exemple portant sur les enfants de moins de 10 ans. Il est fortement marqué que les enfants issus des ménages les plus défavorisés, présentent un risque bien plus élevé d'être infectés ( $OR \approx 4$ ) que ce soit dans le cas de l'analyse univariée ou dans le modèle final. Il est d'ailleurs intéressant de souligner que dans notre cas, puisque la fréquence de l'événement est faible, l'OR peut être considéré comme une bonne approximation du risque relatif. Cette mesure sert à estimer le risque de survenue d'un événement dans un groupe par rapport à l'autre. Ici, cela équivaldrait à interpréter nos résultats de cette manière : toutes choses égales par ailleurs, le risque d'être porteur asymptomatique de parasite est quatre fois plus élevé chez les enfants des ménages pauvres que ceux d'une situation intermédiaire.

Si ces analyses à l'échelle individuelle n'ont pu répondre à la totalité de nos questionnements, dues à la prudence requise dans les traitements statistiques face aux caractéristiques des données de l'enquête, nous avons tout de même pu compléter notre éclairage sur le paludisme-infection en milieu urbain africain. Sans pouvoir vérifier si les effets de contextes sont socialement inégaux, nous pouvons considérer qu'au niveau du ménage, la vulnérabilité sociale, comme effet de composition, joue un rôle prédominant. Les résultats antérieurs ont en effet concouru à souligner qu'une vulnérabilité sociale à l'échelle du district puis à une échelle d'un voisinage même plus important (résultat des BiLISAs) était un facteur de risque important dans l'exposition aux piqûres anophéliennes<sup>95</sup> et dans le risque de paludisme-infection. Nous pouvons affirmer jusque-là que la distance sociale a joué un rôle à toutes les échelles, du ménage au voisinage.

---

<sup>95</sup> Si l'agressivité anophélienne n'a pas été prise en compte à l'échelle des individus, c'est qu'elle représente une caractéristique du district et il nous a semblé, avec l'appui de nos collègues entomologistes, dangereux d'attribuer une valeur d'agressivité à l'individu sans risquer l'erreur écologique.





### ***Le paludisme urbain : une infection aux déterminants "sociaux"***

*Nous en savons à présent plus sur les caractéristiques de la géographie du paludisme infection dans l'agglomération de Dakar. Nous avons vu que la vulnérabilité sociale joue tant à l'échelle individuelle (un ménage pauvre a une probabilité qui serait largement supérieure d'avoir un enfant porteur de parasite qu'un ménage plus aisé) qu'à l'échelle des sous-espaces urbains où les citadins habitant les faciès entomologiques et épidémiologiques les plus favorables à l'épidémie sont également les plus vulnérables socio-économiquement. Cette logique spatiale entre l'hôte et le vecteur a tendance à constituer des zones de cumuls de vulnérabilités écologiques et sociales (Salem & Fournet, 2003 ; Machault et al., 2012 ; Borderon, 2013). Ainsi, ce rôle primordial de la distance sociale, défini dans le cas du paludisme-infection comme le fait de pouvoir prendre ses distances, se mettre à l'écart du moustique-vecteur, a donc bien été confirmé tout le long de nos analyses. Le paludisme urbain serait avant tout une maladie "sociale", expliquée majoritairement par le fait que l'environnement est sensiblement différent entre les populations pauvres et les plus aisées, dont le choix résidentiel est plus vaste et dont la maîtrise de la dimension pathogène du paysage est plus facile à atteindre (la climatisation et le jeu d'encadrement des fenêtres tout comme les matériaux des mur, et du toit sont des éléments qui peuvent jouer un rôle de protection contre l'agressivité anophélienne). Enfin, il est à souligner que nous avons parfois dû renoncer à nos idées d'origine dans l'identification des foyers à risque épidémique en milieu urbain, compte tenu d'un matériel disponible disparate et partiel. Cependant, dès lors que cela était possible, nous avons cherché à mobiliser des méthodes d'analyses de données appropriées à la caractérisation et l'exploration de notre objet d'étude. Nous avons ainsi pu répondre à certaines de nos hypothèses et accepter d'en laisser une partie ouverte à des prospections ultérieures, confirmant l'intérêt et la difficulté d'étude du paludisme urbain. Il est d'ailleurs évident que la difficulté de réalisation d'une géographie du risque d'infection palustre en milieu urbain africain, est un élément qui est partie prenante de l'augmentation du risque d'épidémie, en renforçant la vulnérabilité des citadins par le manque d'informations disponibles et en rendant difficile l'harmonisation de toute action de lutte avec la réalité de l'infection.*



## Conclusion générale

La thèse a eu pour objet d'accroître, autant que faire se peut, les savoirs sur le paludisme urbain et d'apporter certains éclairages sur ses causes et sa distribution spatiale. Le travail peut également se lire comme une plaidoirie pour l'utilisation de démarches méthodologiques exploratoires qui permettent d'avancer étape par étape dans un univers encore obscur et offrent des possibilités de plonger au cœur de la complexité des sociétés humaines en compagnie de modèles simples, maniables et robustes (Banos, 2010).

### **Poser quelques nouvelles pièces sur le grand puzzle du paludisme urbain**

Dans l'objectif de mieux comprendre la structure spatiale du risque de paludisme-infection à Dakar, nous avons mis en place un système d'information géographique reposant sur des données issues d'imageries satellites, des données du recensement de 2002 et des données primaires collectées dans le cadre de deux programmes de recherche sur Dakar, actifs entre 2007 et 2010. Les liens entre les caractéristiques environnementales propices à la réalisation du complexe pathogène et la vulnérabilité sociale des populations citadines ont été observés.

Par le lien spatial étroit entre les localisations du vecteur et les caractéristiques des populations, la vulnérabilité sociale a une dimension multi-niveau et les caractéristiques des territoires (le taux d'agressivité anophélien qui leur est attribué par exemple) se transfèrent à la population et renforcent leur vulnérabilité. Le lien entre population et territoire vulnérable comporte une boucle de rétroaction positive : le fait d'être pauvre pousse les populations à se localiser sur un territoire qui est souvent plus vulnérable à certains aléas, ce qui amplifie encore la situation précaire de ces populations. Dans le cas du paludisme, les personnes les plus dépourvues de capitaux humains et économiques ont des modes de vie qui favorisent les contacts avec l'hôte vecteur, en habitant dans des logements qui ne les isolent pas des anophèles par exemple, et ceci d'autant plus qu'ils n'ont pas les moyens de recourir aux bonnes mesures de protection (à l'intérieur et à l'extérieur du domicile). Ils résident bien souvent dans les zones périphériques des villes dans des conditions parfois insalubres (Keiser et al., 2004; Kouadio et al., 2006; Cot et al., 2006; Teklehaimanot, Paola & Mejia, 2008). Dans la banlieue de Pikine et de Guédiawaye, les populations démunies se sont installées aux abords des Niayes, mordant ainsi sur des zones marécageuses, s'exposant fortement aux inondations et aux maladies vectorielles. Cette pression foncière spécialement forte dans les grandes villes, a ainsi favorisé l'accumulation des vulnérabilités (Pelling, 2003; Lall & Deichmann, 2009). La vulnérabilité sociale a donc un effet pernicieux et le parasite, par exemple, peut circuler plus aisément dans un environnement où les contacts homme-vecteur sont nombreux et la présence d'homme réservoir élevé. Pour illustrer ce double effet de la vulnérabilité sociale, nous avons proposé l'utilisation du concept de distance sociale, qui nous semble décrire de manière intéressante les possibilités d'action dans l'espace (où puis-je

m'installer, me déplacer, bouger ?) et les possibilités d'action " immobiles " (comment puis-je me protéger, mettre des barrières entre moi et le danger ?) (Borderon, 2013).

Les différentes analyses statistiques et géostatistiques bivariées et multivariées, nous ont donc permis de montrer que cette distance sociale dans le risque de paludisme-infection joue un rôle à plusieurs échelles. A l'échelle des districts et de leur voisinage (résultats notamment des BiLISAs), la distance sociale se justifie par le lien de dépendance spatiale qui se dessine entre la présence des populations socialement vulnérables et leur degré d'exposition au sein du district et dans le voisinage. On peut même suggérer, comme conséquence possible de cet état de fait, que dans ces zones de concentration de populations vulnérables fortement exposées où le taux de prévalence est largement supérieur aux autres clusters, les états épidémiologiques des individus s'influencent entre eux. En effet, bien que le paludisme ne soit pas une maladie contagieuse, la transmission d'homme à homme est en fait indirecte. L'homme infecté en jouant le rôle d'hôte réservoir, influence la probabilité de son voisinage (lorsqu'il ne se protège pas) de subir une piqure infectante. Enfin, nous avons vu que cette distance sociale, à l'échelle individuelle, augmentait par quatre (résultat du modèle de régression logistique avec les données d'enquête ACTUPALU) le risque d'infection au paludisme dans les conditions les plus propices à l'épidémie, soit la fin de l'hivernage.

Enfin, compte tenu d'un contexte actuel favorable à une régression du paludisme en général et aux évolutions possibles de nouveaux traitements préventifs du paludisme, nous pouvons légitimement ouvrir la discussion sur les intérêts d'une telle recherche si, par exemple, un vaccin contre le paludisme voyait le jour.

### **Et demain, un vaccin contre le paludisme ?**

En juillet 2015, l'agence européenne du médicament a émis un avis favorable sur le Mosquirix (ou RTS,S), un vaccin prévenant les risques de paludisme, développé par les laboratoires britanniques GlaxoSmithKline<sup>96</sup>. A visée préventive, ce vaccin est conçu pour stopper l'infection, le développement et la multiplication du parasite qui infecte les globules rouges. S'il arrive en phase finale des procédures de validation des vaccins par les instances internationales, il sera utilisé dans les zones d'endémie, sur les enfants âgés de 6 semaines à 17 mois. Il ciblera la forme la plus fréquente et la plus sévère de la maladie, due au parasite *Plasmodium falciparum*. Le vaccin sera destiné uniquement aux enfants en bas âge et il n'est prévu de le commercialiser que dans les pays d'Afrique.

Il n'est donc pas question d'un nouveau traitement de masse, qui aurait pour cible la population dans son ensemble. Ce vaccin pourrait s'ajouter à l'arsenal des moyens de lutte déjà existant, comme un nouvel outil efficace visant les enfants, population particulièrement vulnérable aux infections. Nous restons dans la logique d'une lutte dite intégrée, qui consiste

---

<sup>96</sup>[http://www.ema.europa.eu/docs/en\\_GB/document\\_library/Press\\_release/2015/07/WC500190447.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Press_release/2015/07/WC500190447.pdf)

à empêcher la transmission en jouant sur tous les fronts (moustiquaires, lutte anti-vectorielle, chimioprophylaxie, sensibilisation,...). *A contrario* des traitements de masse, cibler la population vulnérable est socialement plus efficace (quand les gens sont concernés, la sensibilisation est plus efficace) et économiquement moins cher (il y a moins de personnes à atteindre). En 2010, par exemple, on a noté une épidémie de paludisme à Pikine, bien que le programme de gratuité des soins au paludisme et la couverture universelle en MILDA (Moustiquaire Imprégnée à Longue Durée d'Action) étaient opérationnelles (RBM, 2010). Confirmé par deux thèses récentes sur le recours aux soins des citoyens de l'agglomération de Dakar, les personnes vulnérables socio-économiquement sont également celles qui pratiquent régulièrement l'automédication, ce qui favorise la persistance d'un réservoir de parasite (Ndonky, 2012; Koné et al., 2013). En complément de nos propres résultats, ces éléments confirment que la vulnérabilité sociale se définit comme les chemins d'expressions de la transmission, notamment les années où les conditions climatiques sont exceptionnelles et favorisent l'extension des gîtes larvaires (comme cela a été le cas par exemple en 2006, 2008 et 2010). Cela conduit à deux recommandations majeures qui justifient que la question sociale et les études à l'échelle locale n'ont jamais été aussi importantes :

1. Il faudrait principalement protéger les enfants des populations à risque, par exemple viser les populations les plus pauvres dans des espaces particuliers (alentours des paysages pathogènes par exemple). Cela signifie également, atteindre même les populations les plus " invisibles " qui sont souvent les plus vulnérables. Les enfants des rues de Dakar, les " talibés ", en sont un exemple.
2. Il faudrait plaider pour le développement d'observatoires des populations en milieu urbain africain, à l'instar de l'Observatoire de Population de Ouagadougou<sup>97</sup> (OPO) (créé en 2002 et implémenté dans sa forme actuelle en 2008). Les observatoires permettent de produire des connaissances sur la vulnérabilité en milieu urbain, et contribuent à la conception et aux tests des programmes pour la promotion du bien-être des populations urbaines vulnérables et la lutte contre la pauvreté. Une présence continue de tels instituts est utile à la surveillance des maladies et la possibilité d'avoir une vision longitudinale sur les phénomènes.

Ainsi, l'accroissement de connaissances sur le système pathogène palustre, la diffusion d'informations sur les foyers potentiels, la convergence de différentes analyses sont autant d'éléments cruciaux qui peuvent servir de critères aux choix de zones d'intervention des programmes de lutte intégrée contre le paludisme et suggérer des recommandations pour l'amélioration des programmes sanitaires et sociaux existants. Un vaccin efficace contre le paludisme, pourrait améliorer la situation mais ne pourra être efficace à long terme que couplé à des actions et des programmes s'attaquant à la vulnérabilité sociale des populations dans leurs territoires.

<sup>97</sup> <http://www.issp02.issp.bf/opo/>

Enfin, c'est également cette difficulté de réalisation d'une géographie du risque d'infection palustre en milieu urbain africain, qui est un élément clé du risque d'épidémie. Cela renforce la vulnérabilité des citadins par le manque d'informations disponibles et rend difficile l'ajustement de toutes actions de lutte avec la réalité de l'infection.

### **Les moyens d'avoir une attitude holistique**

Tout au long du processus méthodologique de la thèse, nous avons été contrainte d'ajuster les possibilités théoriques avec la réalité pratique. Nous avons, par exemple, dû proposer des modèles qui contiennent un nombre plus restreint de facteurs que ceux que nous aurions aimé tester. Nous avons bien souvent été obligée de choisir, de simplifier tout en restant vigilante pour que l'information ait toujours du sens. Bien sûr, cela se vérifie dans d'autres travaux de recherche. Mais à l'heure où l'information statistique semble sur le devant de la scène, cette distance (sûrement une distance sociale entre les pays, les institutions,...) entre les besoins matériels pour répondre aux hypothèses sur la compréhension des logiques de distribution spatiale du paludisme-infection et la réalité à disposition est grande. La possibilité de création de données primaires inédites peut faire partie intégrante d'un travail de recherche. Une autre voie, pouvant pallier le manque de données primaires ou secondaires, qui n'a pas été ouverte ici, est celle des approches méthodologiques utilisant des mondes virtuels (la simulation par exemple). Nous avons donc réfléchi plus généralement sur ce qu'on a parfois nommé un contexte pauvre en données, disons, en tout cas, limité en données. Dans ce cadre, nous voudrions argumenter sur les positions suivantes : si le contexte limité en données implique des attentes ajustées à ce dernier et l'utilisation de méthodes appropriées, il ne doit pas empêcher l'attitude holistique du chercheur. Nous entendons par là, qu'il faut conserver la nécessité de regarder les choses comme un tout qui n'est pas réductible à la somme de ses parties. Ce serait l'erreur de méthodes analytiques principalement focalisées sur les effets indépendants de chaque élément du système, qui limite alors la possibilité de répondre aux questions posées (Diez Roux, 2011). C'est dans cette démarche que nous avons cherché à croiser les connaissances que nous avions des deux éléments du système pathogène palustre : l'hôte et le vecteur. Or une démarche exploratoire, souple et transparente, confrontée tant à la complexité avérée de l'objet d'étude qu'à la limitation des matériaux à disposition, nous a permis d'ouvrir des pistes et d'éclairer un peu plus le tableau. Les collaborations avec les chercheurs des deux programmes de recherche présentés dans les annexes de ce travail, ont justement permis de raccrocher des mondes qui ne travaillent pas souvent ensemble. L'absence de lien formel et géographique (la concordance entre les enquêtes de terrain des deux programmes est loin d'être parfaite) est un bon indicateur pour souligner que le travailler ensemble et l'interdisciplinarité sont et resteront essentiels. Cependant, l'ouverture d'esprit et l'intérêt que nous avons tous eus dans la mise en commun des données est également un bon indicateur des volontés de faire de la recherche "non compartimentée".

Le choix d'étude à une échelle locale et en milieu urbain associé à l'absence fréquente de données de santé publique fiables dans un pays en développement ont rendu difficile, mais pas aporétique, l'éclairage du risque de paludisme-infection à l'aide de méthodes quantitatives. Adopter une posture d'ouverture sur le cadre conceptuel de la recherche, s'attendre à réorienter, raffiner les hypothèses, utiliser des instruments efficaces, adaptés aux données géographiques et réhabiliter les graphiques comme outils d'analyses, ont constitué autant d'éléments qui ont permis de produire des résultats quantitatifs robustes et pertinents sur une thématique encore peu abordée par les sciences sociales sous l'angle spatial. Cela renforce l'intérêt de promouvoir l'attitude abductive et l'application d'analyse exploratoire de données, notamment dans les pays du Sud.





## Postface

### Une conclusion ou plutôt un début ?

Au-delà du paludisme et du milieu urbain, c'est bien l'étude de la vulnérabilité et les contextes limités en données qui font aujourd'hui le fil rouge de mes recherches. Mon expérience au département de géographie de l'université de Salzburg, parallèle à ces travaux, a confirmé mon intérêt pour les projets de recherche où les connaissances géographiques sont faibles, sensibles et pourtant primordiales. L'étude de la vulnérabilité au changement climatique en Mauritanie, a souligné l'intérêt d'appliquer une démarche méthodologique souple et adaptée à un contexte pauvre en données et politiquement sensible. Les intérêts de combiner des approches quantitatives mais aussi qualitatives rigoureuses pour identifier et décrire les populations et les espaces les plus vulnérables ont été soulignés. Le second "nouveau" terrain de recherche que j'ai découvert, la région du Bengale-Occidental en Inde, m'a donné l'opportunité de superviser une enquête population de 4000 ménages pour comprendre la vulnérabilité et les logiques territoriales des migrants forcés (par l'érosion du Gange). Cela a résonné avec les envies et les questions que je m'étais posées à Dakar et que je n'avais pas pu mettre en pratique. Les évolutions techniques récentes permettent de révolutionner les moyens d'obtention de données fines et localisées et de les rendre également dynamiques. L'enquête indienne, puisqu'il n'était pas possible de connaître le statut des ménages (migrant ou non) dans la zone d'étude et encore moins d'appliquer aisément une méthode de sondage aléatoire classique, a été réalisée à l'aide de GPS. Ainsi, ajoutée à mon intérêt pour les problématiques en lien avec la vulnérabilité sociale, cette question des données, de leur exploitation, de leur création et de l'utilisation sociale qu'il est possible d'en faire animeront, j'espère encore longtemps, mon parcours de géographe. Et puisqu'à chaque révolution, son nouveau lot de questions, l'essor des moyens d'obtention de données géolocalisées interroge sur la sensibilité même de ces informations, la possibilité d'en extraire un savoir qui ne doit pas mettre en danger ces populations et le choix d'échelles d'analyse et de visualisation dans un respect de protection de populations, déjà vulnérables.



## **En fin...**

Si les citations attenantes à chacune des parties reprennent trois auteurs qui me sont chers dans la littérature et la philosophie, leur place ici n'est pas laissée au hasard.

F. Nietzsche amorce le début des travaux. L'aspect changeant et dynamique du monde est souligné alors que la philosophie de l'auteur est élaborée autour de la conception de l'éternel retour et de la constance dans tout mouvement. C'est cela même, l'immuable dans le variable, qu'il nous faut chercher dans les structures spatiales et dans la réalisation des phénomènes, afin de construire des savoirs pérennes.

Une fois l'état de l'art et le contexte décrit, il faut comprendre l'environnement que nous étudions, le lire, le décrypter. Le paysage, l'espace sont alors des produits hybrides d'une conjugaison d'époques. Comme le suggère M. Yourcenar, regarder ce passé et ce présent qui s'enchevêtrent, nous renseigne également sur le potentiel des époques futures. Comprendre, appréhender et analyser ces paysages permettent d'en extraire des bribes d'explication quant aux facultés de contenir ou non des événements (ici de santé).

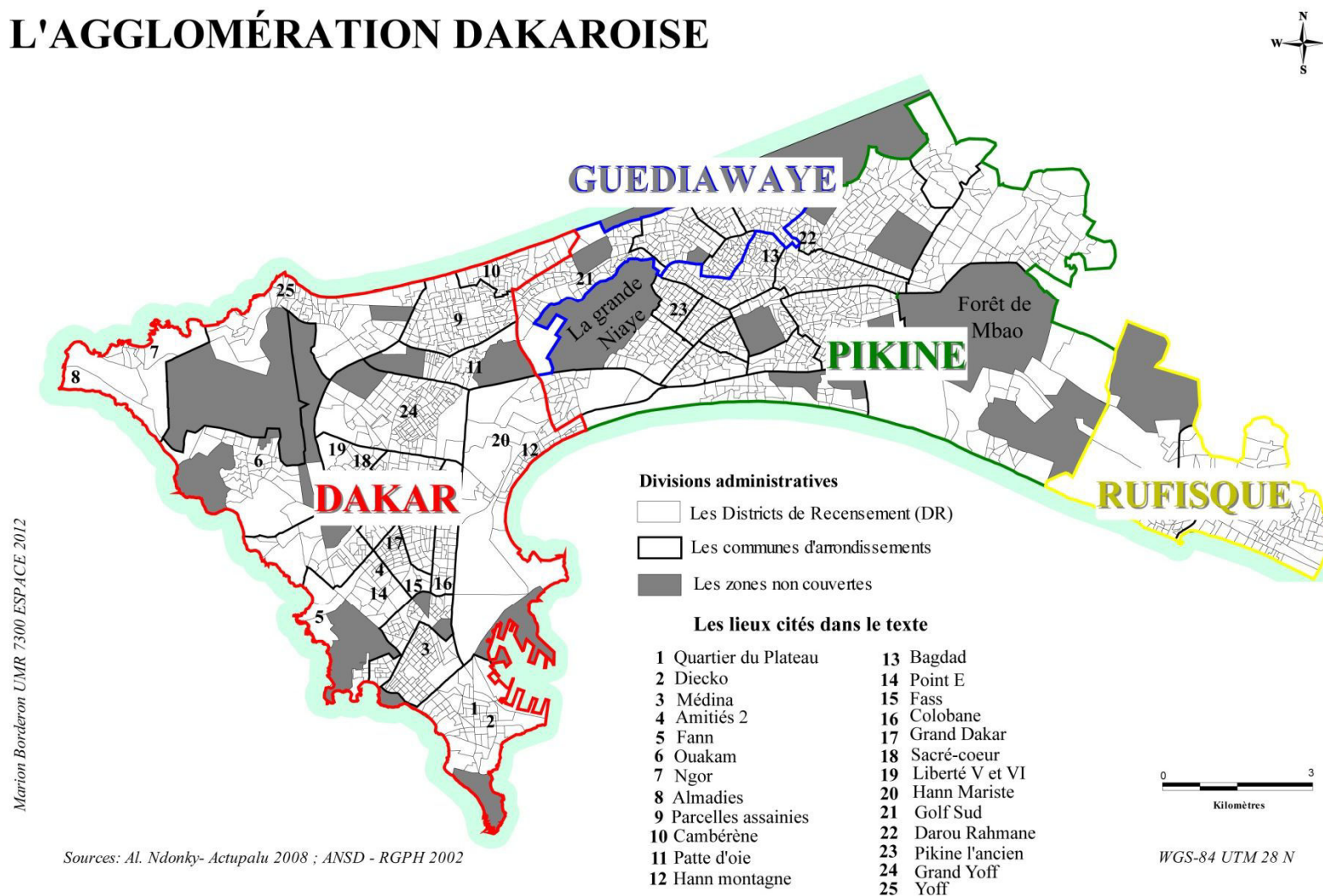
La perspective de chercher à comprendre, la nécessité de faire "de la recherche" se sont présentées à moi comme une confrontation entre l'appel déraisonnable du monde face à la pensée, elle, raisonnable et simplificatrice de l'homme. Affronter la complexité pour combattre l'absurde, cette notion même qui dirige l'œuvre de A. Camus, trouver les meilleurs chemins pour la production de discours rigoureux et utiles à l'assouvissement du besoin de connaître. Ce serait la responsabilité sociale de la recherche de combattre l'absurdité de la condition du monde en améliorant nos conditions d'être-au-monde.



## Annexe 1 : Carte de situation avec référence aux lieux cités dans le texte

Figure 57 : Situation géographique des lieux cités dans le texte

### L'AGGLOMÉRATION DAKAROISE



Sources: Al. Ndonky- Actupalu 2008 ; ANSD - RGPH 2002



## **Annexe 2 : Résumé de la construction de la variable modélisée : taux d'agressivité**

La construction du taux d'agressivité dans l'agglomération de Dakar à différents pas de temps repose sur un modèle élaboré et publié par des chercheurs de l'équipe "Maladies émergentes et moustiques/Unité de Recherche sur les Maladies Infectieuses et Tropicales Emergentes (URMITE)" du Département d'Infectiologie de Terrain de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA) de Marseille. Les détails de la modélisation sont disponibles dans la publication suivante :

Machault, V., Vignolles, C., Pagès, F., Gadiaga, L., Tourre, Y. M., Gaye, A., ... & Rogier, C. (2012). Risk mapping of *Anopheles gambiae* sl densities using remotely-sensed environmental and meteorological data in an urban area : Dakar, Senegal.

L'objectif des travaux était de développer une méthodologie opérationnelle robuste pour produire des cartes prédictives du risque entomologique dans l'agglomération de Dakar. L'ensemble de la méthodologie s'est appuyée sur une vaste récolte de données de terrain récoltées dans 45 sites entre 2007 et 2010. Nous résumons les étapes du protocole méthodologique suivi dans les points suivants :

### 1 étape : Carte des collections d'eau

- Elaboration d'indicateurs déterminant la probabilité de présence d'eau de surface
- Caractérisation environnementale des collections d'eau

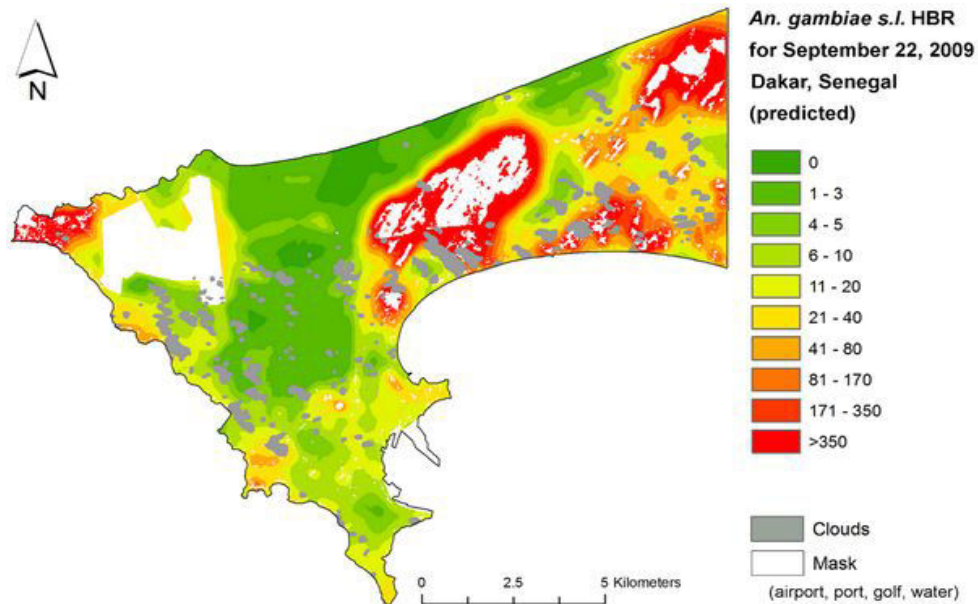
### 2 étape : Carte des gîtes larvaires

- Elaboration d'indicateurs déterminant la probabilité de présence de larves dans l'eau de surface
- Caractérisation environnementale des gîtes larvaires

3ème étape : Carte des agressivités anophéliennes (exemple du résultat produit dans la figure ci-dessous)

- Compréhension des relations entre densités larvaires et adultes
- Calcul et vérification que la probabilité de présence de larves, en accord avec les surfaces de ces gîtes larvaires présumés, soit la principale source de moustiques adultes, pondérée par leur survie quotidienne et leur distance de dispersion

**Figure 58 : Exemple publié dans Plos ONE (2012) "Predicted *An.gambiae* s.l. HBR (step 3, number of bites per person per night) for September 22, 2009."**



Machault V, Vignolles C, Pagès F, Gadiaga L, Tourre YM, et al. (2012) Risk Mapping of *Anopheles gambiae* s.l. Densities Using Remotely-Sensed Environmental and Meteorological Data in an Urban Area : Dakar, Senegal. PLoS ONE 7(11) : e50674. doi :10.1371/journal.pone.0050674

Dans cet exemple, le taux d'agressivité a été cartographié seulement pour les zones peuplées et les grands lieux habités ont été supprimés manuellement (comme les champs de l'aéroport et les marais). Ces zones ne sont également pas couvertes pas le recensement.



## Annexe 3 : le projet ACTUPALU

### Cadre de la recherche

Financé par l'IRD et l' ANR-07-SEST-001, le projet ACTUPALU coordonné par Richard Lalou a été porté par le laboratoire UMR 151 AMU IRD de Marseille et a eu lieu de 2008 à 2010. Projet interdisciplinaire entre plusieurs équipes de recherche (démographes, anthropologues, épidémiologistes, économistes et géographes), il s'est focalisé sur les enjeux du paludisme en milieu urbain africain dans la mise en place des thérapies à base d'artémisinine.

Pour en savoir plus, le lien suivant redirige sur la page officielle du programme [ACTUPALU](#).

### Résumé des objectifs

Le projet ACTUPALU a pour objet principal d'aider à l'amélioration de l'efficacité des nouvelles stratégies thérapeutiques de lutte contre le paludisme, notamment en milieu urbain où le recours aux soins répond à la fois à des facteurs médicaux, sociaux, économiques et environnementaux complexes.

Dans ce cadre, un des objectifs majeurs a été de mesurer le taux de portage asymptomatique de *Plasmodium* dans la région de Dakar, deux ans après la mise en œuvre de nouvelles stratégies en matière de gestion de paludisme clinique.

### Données primaires collectées dans le cadre du projet

Deux types d'enquêtes nous ont particulièrement intéressée dans ce projet.

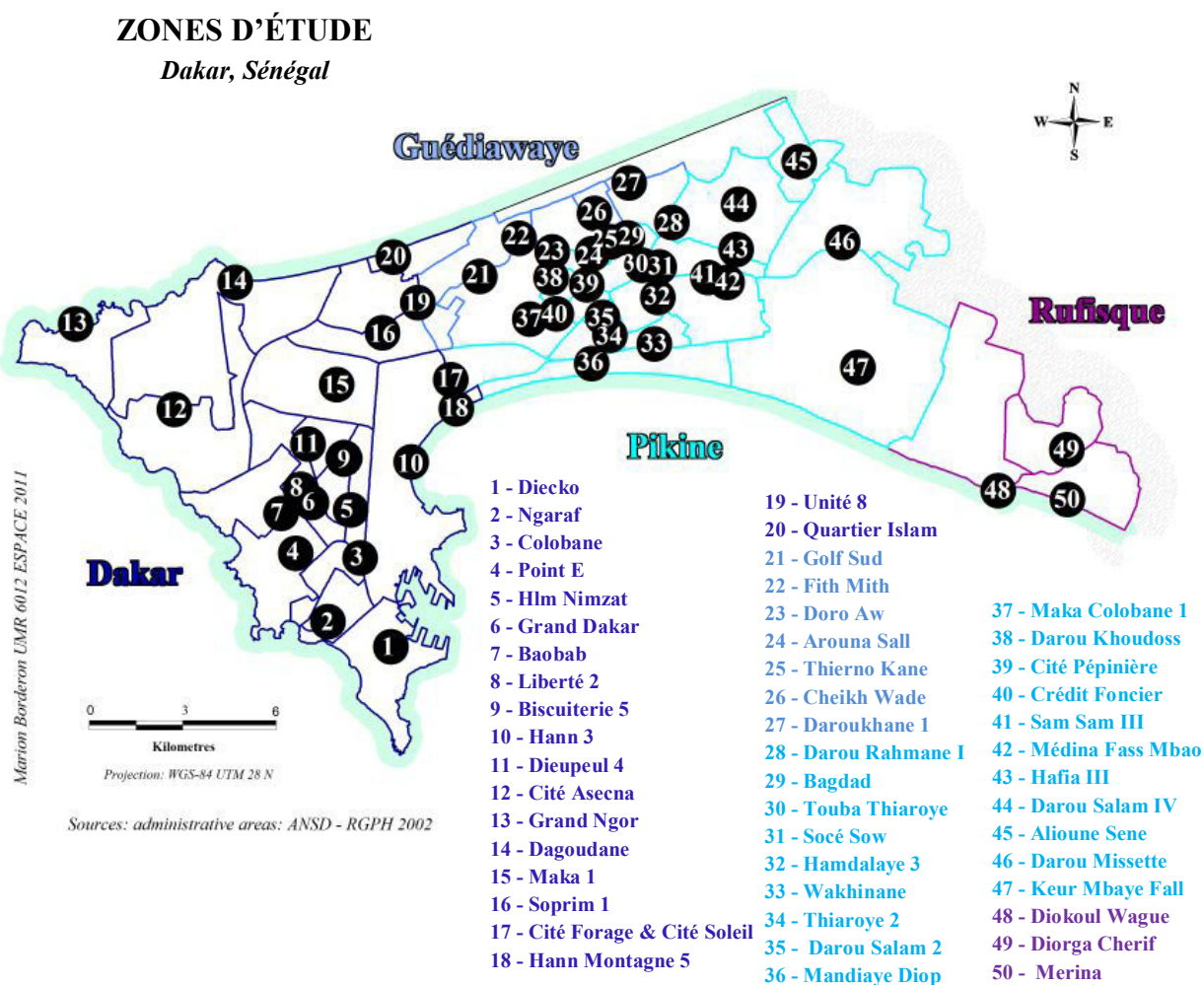
L'une est une enquête socio-démographique transversale qui a débuté en septembre et s'est achevée le 22 décembre 2008. La période a été choisie parce qu'elle correspond à la saison des pluies, où la transmission du paludisme est la plus forte.

L'autre est une enquête épidémiologique sur la mesure du taux de portage asymptomatique de *Plasmodium* réalisé aux mêmes dates.

Au total, ce sont 2952 ménages sélectionnés dans 50 sites de la région de Dakar qui ont été enquêtés par questionnaire et dont certains membres des ménages ont subi un prélèvement sanguin.

La cartographie suivante illustre la localisation des 50 sites d'enquêtes. Chaque site peut contenir un ou plusieurs DRs.

Figure 59 : Les zones d'enquêtes ACTUPALU



➤ Précision sur les données issues de l'enquête épidémiologique

Les tests de goutte épaisse réalisés sur des femmes adultes et des enfants âgés de 2 à 10 ans en situation asymptomatique lors de la passation des questionnaires chez les ménages enquêtés, ont été ensuite analysés par microscope. L'analyse a concerné 2427 femmes et 2231 enfants. Pour assurer la qualité de la microscopie, une réaction en chaîne de la polymérase (PCR) a été réalisée sur toutes les gouttes épaisses positives et sur un échantillon de gouttes épaisses négatives (Diallo et al., 2012a).

### Résumé de la conception de l'enquête

➤ Plan de sondage

Le tirage de l'échantillonnage s'est effectué selon une approche statistiquement raisonnée. Un premier tirage des districts de recensement (DR) ou quartiers, puis un second tirage des

ménages. L'étude a lieu dans les communes urbaines de Dakar, Guédiawaye, Pikine et Rufisque, subdivisées en 42 communes d'arrondissement. Ces quatre communes urbaines comptaient en 2002, une population de 1 983 093 d'habitants et 270 669 ménages (RGPH, 2002). L'ensemble des 42 communes d'arrondissement est constituée d'environ 2000 DR dont la population moyenne est de 1037 habitants (141 ménages et 86 concessions par DR).

### 1. Tirage de l'échantillon au premier degré District de recensement (DR)

Le DR est le niveau le plus fin de recueil et de diffusion de l'information censitaire. Il compte environ 1 000 habitants et constitue une entité assez homogène du point de vue socio-économique, démographique voire environnemental. A partir des informations du recensement général de la population et de l'habitat en 2002 (RGPH, 2002), une typologie des DR a été construite. Des ACP par thématique ont d'abord été effectuées sur les données censitaires puis une classification de type nuées dynamiques (méthode des k-means) a été réalisée, utilisant les variables sélectionnées à partir d'une ACP finale utilisant les axes factoriels des ACP thématiques. Cela a permis de classer les DR en 5 types (classes) qui correspondent à notre typologie de vulnérabilité sociale construite exactement sur le même modèle.

Le choix des DRs enquêtés a alors été fait selon deux critères principaux :

- la prise en compte de la dimension socio-économique et démographique : le choix des zones a été fait sur la base des classes statistiques retenues (les 5 types de DR). Toutes les classes sont donc représentées dans l'échantillon.

- La prise en compte de l'espace : dans chaque commune d'arrondissement, au moins une zone d'enquête a été choisie.

Dans chacune des 42 communes d'arrondissement, que compte la zone d'étude (l'agglomération de Dakar), le DR type (ou DR référent) a été choisi pour figurer dans l'échantillon. Le DR type est au centre de gravité de la classe.

Pour éviter le risque de ne pas avoir suffisamment de ménages éligibles dans un DR, il a été adjoint à chacun des 50 DR déjà choisis, un DR binôme, constituant ainsi une zone d'enquête. Ce DR binôme doit être statistiquement le plus proche du DR type et lui être contigu. Ce sont ces zones d'enquête (DR binôme) qui sont nommées parfois sites d'étude.

### 2. Tirage de l'échantillon au degré suivant (concession, ménage, individu)

Une concession est un habitacle, regroupant plusieurs ménages. Unité principale d'analyse de l'étude, le **ménage est défini** comme un groupe de personnes, apparentées ou non, partageant le même toit, mettant en commun tout ou une partie de leurs ressources pour subvenir à leurs besoins essentiels (notamment la nourriture et le logement) en reconnaissant

l'autorité d'une seule et même personne, le chef de ménage. Défini comme une unité budgétaire dans cette étude, le ménage se distingue de l'unité familiale laquelle regroupe des personnes unies par le sang ou le mariage (Koné, 2012). Les ménages ont été sélectionnés selon un pas de sondage propre à chaque quartier. Le pas de sondage variait de 1 à 3 en fonction de la taille du quartier. L'échantillon théorique était de 60 ménages par zones d'enquête (quartier), ce qui nous a donné un total de 3000 ménages à enquêter. Avec les non-réponses ou les données manquantes, l'échantillon total a concerné exactement 2952 ménages.

### **Les questionnaires**

Deux questionnaires ont été conçus pour cette enquête : un questionnaire ménage et un questionnaire individuel. Le questionnaire ménage et les questionnaires Individuels sont divisés en plusieurs "modules". Chaque module porte sur un sujet différent. Le questionnaire ménage s'adresse en principe au chef de ménage. Il est divisé en six modules :

- Module M1 Caractéristiques des membres du ménage
- Module M2 Caractéristiques de l'habitat
- Module M3 Caractéristiques de l'environnement domestique
- Module M4 Ressources matérielles
- Module M5 Ressources monétaires
- Module M6 Dépenses

Les modules M1 à M6 inclus contiennent essentiellement des questions relatives à la composition actuelle du ménage, à ses conditions de logement, à sa situation économique et sociale, et aux caractéristiques du ménage.

Le Questionnaire individuel s'adressait à une des femmes du ménage, mère d'au moins un enfant de moins de 10 ans. Ce questionnaire est divisé en modules de la façon suivante :

- Module F1 Caractéristiques sociodémographiques et culturelles
- Module F2 Activités
- Module F3 Mobilités
- Module F4 Le quartier actuel
- Module F5 Déplacements dans la ville
- Module F6 Réseaux sociaux
- Module F7 Aspects psychosociaux de la santé
- Module F8 Connaissances et attitudes sur la santé, le paludisme et le médicament
- Module F9 Perceptions des structures sanitaires du quartier
- Module F10 Recours aux soins lors du dernier épisode de fièvre de l'enfant
- Module F11 Pharmacie familiale

### Redressement et pondération de l'échantillon

Le sondage réalisé pour le projet ACTUPALU ne repose pas, comme il est d'usage, sur un échantillonnage totalement probabiliste, puisque il a été conçu en intégrant au premier degré un tirage statistiquement raisonné. A ce titre, il se veut donc très représentatif – le choix se faisant sur une analyse statistique robuste des unités primaires de sondage –, mais il ne permet pas de calculer la précision des estimateurs (intervalles de confiance). Cette option, contraignante mais faiblement risquée, a résulté d'une volonté de disposer d'un échantillon spatialement et socialement représentatif. Par la suite, un échantillonnage aléatoire stratifié et à plusieurs degrés a été utilisé. Plus classique, cette méthode de sondage introduit certaines distorsions (tirage non-proportionnel) au niveau des concessions, des ménages et des individus, qui ont été corrigées. Il a cependant été conclu par les chercheurs du programme ACTUPALU que la méthode de sélection des unités primaires de sondage n'a permis aucune possibilité de redressement de l'échantillon. Cependant, les analyses post-sondages ont montré que l'échantillon obtenu se distribue sur la presque totalité des profils socio-économiques des DRs, à l'exception des plus atypiques (note de 14p. sur la pondération de l'échantillon rédigée par R. Lalou). Dans nos travaux, nous considérons alors que l'échantillon donne les résultats identiques à ceux d'un plan de sondage probabiliste et que les DR enquêtés sont représentatifs de la population mère.

Les pondérations qui ont été prises en compte concernent le redressement de l'échantillon au 2e degré. En effet, au deuxième degré, un tirage de 60 concessions éligibles – c'est-à-dire composées d'au moins un enfant âgé entre 2 et 10 ans – par binôme de DR a eu lieu, et ceci quelle que soit la taille de la paire de DR en nombre de concessions éligibles. Pour retrouver un tirage proportionnel à la taille des DR en concessions, la distorsion a donc été corrigée :

Fig x. Extrait de la note sur la pondération rédigée dans le cadre du projet

$$\frac{CC_q * \sum_{q=1}^{50} CC\hat{en}q_{(q)}}{\sum_{q=1}^{50} CC_q * CC\hat{en}q_{(q)}} = CP2$$

Où :  $CC_{(q)}$  = nombre total de concessions éligibles dans le quartier q (binôme de DR) ;

$\sum_{q=1}^{50} CC_{(q)}$  = nombre total des concessions éligibles dans les 50 quartiers de l'échantillon total Dakar/Pikine (ensemble des DR sélectionnés) ;

$CC\hat{en}q_{(q)}$  = nombre total de concessions éligibles enquêtées dans le quartier q (binôme de DR) ;

$\sum_{q=1}^{50} CC\hat{en}q_{(q)}$  = nombre total des concessions éligibles enquêtées dans les 50 quartiers de l'échantillon total Dakar/Pikine (ensemble des DR sélectionnés).

(Réalisé par R. Lalou)

Les résultats des pondérations sont pris en compte sous STATA par l'option *pweight*.



## Bibliographie

Adjamagbo, A., & Antoine, P. (2002). *Le Sénégal face au défi démographique*. Document de travail DIAL nDT/2002/07, 29 p.

Akhtar, R., & Has, J. H. (2003). May borrowed M Sorre's 1933 concept of pathogenic complexes. *Cybergeog: European Journal of Geography*.

URL : <http://cybergeog.revues.org/3976> ; DOI : 10.4000/cybergeog.3976

Akoto, E. (1993). *Déterminants socio-culturels de la mortalité des enfants en Afrique noire: hypothèses et recherche d'explication* (Vol. 4). Louvain-la-Neuve : Academia, 269 p.

Amat-Roze, J. M., & Rémy, G. (1983). Paysage épidémiologique du paludisme dans l'espace ivoiro-voltaïque. *Travaux et documents de géographie tropicale*, (48), 97-107.

Amat-Roze, J. M., & Gentilini, M. (1995). La santé en cartes: De l'espace mondial à l'espace régional et local. *Autrement, Série mutations*, (152), 119-137.

Amat-Roze, J. M. (1998). Risques sanitaires et territoires à risque. Perception individuelle et perception collective, du groupe à l'Etat, in Guillaud, D., Seysset, M., Walter, A. *Le Voyage inachevé...* Orstom Editions, 543-550.

Amat-Roze, J. M. (2000). Santé et tropicalité en Afrique subsaharienne: un système multirisque. *Afrique contemporaine*, (195), 24-35.

Amat-Roze, J. M. (2011). La territorialisation de la santé: quand le territoire fait débat. *Hérodote*, 143(4), 13-32.

ANSD. (2006). *Rapport National de présentation, Résultats du troisième recensement général de la population et de l'habitat -2002*. Agence nationale de la statistique et de la démographie du Sénégal.

URL : [http://www.ansd.sn/ressources/rapports/Rapport\\_RGPH\\_88.pdf](http://www.ansd.sn/ressources/rapports/Rapport_RGPH_88.pdf)

ANSD. (2008). *Situation économique et sociale de la région de Dakar de l'année 2007*. SRSD, Dakar, 187 p.

URL : [http://www.ansd.sn/ressources/ses/SES\\_Dakar\\_2007.pdf](http://www.ansd.sn/ressources/ses/SES_Dakar_2007.pdf)

Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 284 p.

Anselin, L. (1994). Exploratory spatial data analysis and geographic information systems, in Painho, M. *Proceedings of the Workshop on New Tools for Spatial Analysis*. Eurostat, 45-54.

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- Anselin, L. (1996). The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association, in Fischer, M., Scholten, H. K., Unwin, D. *Spatial analytical perspectives on GIS*. London : Taylor & Francis, 111-125.
- Anselin, L. (1999). Interactive techniques and exploratory spatial data analysis, in Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. New York : Wiley, 251–264.
- Anselin, L., Syabri, I., & Smirnov, O. (2002). Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows. in Anselin, L., Rey, S. *New Tools for Spatial Data Analysis: Proceedings of the Specialist Meeting*. Center for Spatially Integrated Social Science (CISIS), University of California, Santa Barbara, CD-ROM.
- Arbia, G., Benedetti, R., & Espa, G. (1996). Effects of the MAUP on image classification. *Geographical Systems*, (3), 123-141.
- Arnould, P., & Simon, L. (2007). *Géographie de l'environnement*. Paris : Belin, 303 p.
- Aron, J. L. (1988). Mathematical modelling of immunity to malaria. *Mathematical Biosciences*, 90(1), 385-396.
- Awolola, T. S., Oduola, A. O., Obansa, J. B., Chukwurar, N. J., & Unyimadu, J. P. (2007). Anopheles gambiae ss breeding in polluted water bodies in urban Lagos, southwestern Nigeria. *Journal of vector borne diseases*, 44(4), 241.
- Ayache, L. (1992). *Hippocrate*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?, n° 2660.
- Bacaër, N., & Sokhna, C. (2005). A reaction-diffusion system modeling the spread of resistance to an antimalarial drug. *Math. Biosc. Eng*, 2(2), 227-238.
- Bachelard, G. (1935). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : PUF, 1934, vol. 1.
- Banos, A. (2010). La simulation à base d'agents en sciences sociales: une «béquille pour l'esprit humain»? *Nouvelles perspectives en sciences sociales: Revue internationale de systémique complexe et d'études relationnelles*, 5(2), 91-100.
- Banos, A. (2013). *Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en Géographie et SHS*. HDR, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 107 p.



Banque Mondiale. (2000). *Rapport sur le développement dans le monde 2000/2001, combattre la pauvreté*. Paris : Eseka.

URL : <http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/2001/01/7592008/world-development-report-20002001-attacking-poverty-rapport-sur-le-developpement-dans-le-monde-20002001-combattre-la-pauvrete>

Banque Mondiale. (2008). *Rapport sur le développement dans le monde, l'agriculture au service du développement*. Washington.

URL : <http://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/5990/WDR%202008%20Overview%20Fr.pdf?sequence=4>

Banque Mondiale. (2013). *Global Monitoring Report 2013: Rural-Urban Dynamics and the Millennium Development Goals*. Washington.

URL : <http://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/13330>

Batty, M., & Torrens, P. M. (2001). Modeling complexity: the limits to prediction. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

URL : <http://cybergeo.revues.org/1035> ; DOI : 10.4000/cybergeo.1035

Baudon, D., Louis, F. J., & Martet, G. (1996). En Afrique, le paludisme urbain est le paludisme de demain. *Med. Trop*, 56, 323-325.

Baudon, D., & Spiegel, A. (2003). Paludisme urbain, paludisme de demain pour l'Afrique sub-saharienne. *Bull Soc Path Ex*, 96, 3-155.

Baulig, H. (1948). La géographie est-elle une science?. *Annales de géographie*, 1-11.

Beck, L. R., Rodriguez, M. H., Dister, S. W., Rodriguez, A. D., Rejmankova, E., Ulloa, A., Meza, R. A., Roberts, D. R., Paris, J. F., & Spanner, M. A. (1994). Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 51(3), 271-280.

Beck, L. R., Lobitz, B. M., & Wood, B. L. (2000). Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. *Emerging infectious diseases*, 6(3), 217.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(3), 239-258.

Bley, D. (2010). Les maladies à transmission vectorielle, pourquoi s'y intéresser?. *Natures Sciences Sociétés*, 18(2), 101-102.

Bonn, F., & Rochon, G. (1992). *Remote sensing handbook. 1. Principles and methods*. Presses de l'Université du Québec, 484 p.

- Bonnefoy, J. L. (2005). *Etude de géographie théorique et expérimentale*. HDR, Université de Provence, 225 p.
- Borderon, M., & Perchoux, C. (2009) *Le paludisme urbain à Brazzaville: hétérogénéité locale, enjeu global, de la géographie du risque aux stratégies de lutte anti-paludique*. Mémoire de master I, Université de Provence, 177 p.
- Borderon, M. (2013). Why here and not there? Developing a spatial risk model for malaria in Dakar, Senegal. *Publication Series of UNU-EHS No. 17/2012*, 108-120.
- Borderon, M., Oliveau, S., Machault, V., Vignolles, C., Lacaux, J. P., & N'Donky, A. (2014). Qualifier les espaces urbains à Dakar, Sénégal. Résultats préliminaires de l'approche croisée entre télédétection et données censitaires spatialisées. *Cybergeo: European Journal of Geography*.  
URL : <http://cybergeo.revues.org/26250> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26250
- Borderon, M., Buchs, A., Leblan, V., & Vecchione, E. (2015 – sous presse). Réflexivité et registres d'interdisciplinarité. Une boussole pour la recherche entre natures et sociétés. *Nature Science Société, rubrique "Regards"*.
- Boudin, J. C. M. (1843). *Essai de géographie médicale*. Paris : Germer-Baillière.
- Boudin, C., Bonnet, S., Tchuinkam, T., Gouagna, L. C., Gounoue, R., & Manga, L. (1998). L'évaluation des niveaux de transmission palustre: Méthodologies et paramètres. *Médecine tropicale*, 58(1), 69-75.
- Bowd, G., & Clayton, D. (2005). French tropical geographies: editors' introduction. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 26(3), 271-288.
- Brillet, P. (1995). La géographie de la santé et les sciences médicales. *Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie*, n°39, 21-34.
- Brown, T., & Moon, G. (2002). Placing geographies of public health. *Area*, 34, 361-69.
- Brücker, G., & Fassin, D. (1989). *Traité de santé publique*. Paris : Ellipse.
- Bruneau, M., & Georges, J. (1984). A l'ombre de la "pensée Gourou". *Espaces Temps*, 26(1), 67-78.
- Bruneau, M., & Courade, G. (1984). Existe-t-il une géographie humaine tropicale? [À la recherche du paradigme de Pierre Gourou]. *Espace géographique*, 13(4), 306-316.

Bruneau, M. (2000). Pierre Gourou (1900-1999). Géographie et civilisations. *L'Homme*, 153, 7-26.

URL : <http://lhomme.revues.org/1>

Bruneau, M. (2006). Les géographes français et la tropicalité, à propos de l'Asie des moussons. *L'Espace géographique*, (35), 193-207.

Bruneau, M., & Dory, D. (1989). De la tropicalité au développement à l'intersection problématique entre les sciences de la nature et les sciences de la société. *Les enjeux de la tropicalité*, Paris : Masson.

Buckee, C. O., Wesolowski, A., Eagle, N. N., Hansen, E., & Snow, R. W. (2013). Mobile phones and malaria: modeling human and parasite travel. *Travel medicine and infectious disease*, 11(1), 15-22.

Burel, F., & Baudry, J. (1999). *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris : Editions TEC & DOC, 359 p.

Busca, D., & Toutain, S. (2009). Analyse factorielle simple en sociologie. Méthodes d'interprétation et études de cas. *Ouvertures sociologiques*, Coll. Essai. Bruxelles, De Boeck Supérieur, 272 p.

Calbérac, Y. (2010). *Terrains de géographes, géographes de terrain. Communauté et imaginaire disciplinaires au miroir des pratiques de terrain des géographes français du XXe siècle*. 2010. Thèse de doctorat. Université Lumière-Lyon II, 397 p.

Campbell, C., Collins, W., Chin, W., Teutsch, S., & Moss, D. (1979). CHLOROQUINE-RESISTANT PLASMODIUM FALCIPARUM FROM EAST AFRICA:: Cultivation and Drug Sensitivity of the Tanzanian I/CDC Strain from an American Tourist. *The Lancet*, 314(8153), 1151-1154.

Canton, & Franceschi, (1939). Chronique documentaire, au sujet du paludisme dans la ville de Dakar. *Archives de médecine et pharmacie navales*, n° 129, 548 III.

URL : <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histoire/medica/resultats/index.php?p=554&do=p&age&cote=90156x1939x129>

Carnevale, P., Bosseno, M. F., Zoulani, A., Michel, R., & Molez, J. F. (1985). La dynamique de la transmission du paludisme humain en zone de savane herbeuse et de forêt dégradée des environs nord et sud de Brazzaville RP du Congo. *Cahiers-ORSTOM. Entomologie médicale et parasitologie*, 23(2), 95-115.

Carnevale P., & Robert V., (2009). *Les anophèles – Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle*. Marseille : IRD Editions, Collection Didactiques, 391 p.

Carter, R., Mendis, K. N., & Roberts, D. (2000). Spatial targeting of interventions against malaria. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(12), 1401-1411.

Cauvin, C. (2007). Géographie et mathématique statistique, une rencontre d'un nouveau genre. Trente ans de stages de mathématique et statistique appliquées à la géographie. *La Revue pour l'histoire du CNRS*.

URL : <http://histoire-cnrs.revues.org/4131>

Cazanove, F. (1932). Mosquitoes at Dakar in 1931. *Bulletin de la Societe de Pathologie Exotique*, 25(7), 797-817.

Ceccato, P., Connor, S. J., Jeanne, I., & Thomson, M. C. (2005). Application of geographical information systems and remote sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk. *Parassitologia*, 47(1), 81-96.

Chadule. (1974). *L'analyse statistique des données en géographie*. Paris : Masson, 192 p.

Chailley, M. (1968). *Histoire de l'Afrique occidentale française, 1638-1959*. Paris : Berger-Levrault.

Chaix, B., & Chauvin, P. (2002). L'apport des modèles multiniveau dans l'analyse contextuelle en épidémiologie sociale: une revue de la littérature. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 50(5), 489-499.

Chaléard, J. L., Dubresson, A., Lesourd, M., Piermay, J. L., & Raison, J. P. (2010). Autour de Paul Pélissier. Entretien en forme d'hommage. *EchoGéo*, (13).

URL : <http://echogeo.revues.org/12114> ; DOI : 10.4000/echogeo.12114

Chamussy, H. (2000). Le groupe Dupont ou les enfants du paradigme, in Knafou, R. *L'état de la géographie. Autoscopie d'une science*. Paris : Belin, 134-144.

Charlwood, J. D., & Alecrim, W. A. (1989). Capture-recapture studies with the South American malaria vector *Anopheles darlingi*, Root. *Annals of tropical medicine and parasitology*, 83(6), 569-576.

Charmot, G., & Mouchet, J. (1999). Paludisme. *Cahiers Santé*; 3 : 211-338.

Charreire, H. (2007). *Santé périnatale et territoire urbain: Analyse géographique des inégalités sociales de santé en Seine-Saint-Denis*. Thèse de doctorat de géographie, Université Paris 11, 250 p.

Chinery, W. A. (1995). Impact of rapid urbanization on mosquitoes and their disease transmission potential in Accra and Tema, Ghana. *African journal of medicine and medical sciences*, 24(2), 179-188.

- Chitnis, N., Cushing, J. M., & Hyman, J. M. (2006). Bifurcation analysis of a mathematical model for malaria transmission. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 67(1), 24-45.
- Cilliers, P., & Spurrett, D. (1999). Complexity and post-modernism: Understanding complex systems. *South African Journal of Philosophy*, 18(2), 258-274.
- Cissé, B., Sokhna, C., Boulanger, D., Milet, J., Bâ, E. H., Richardson, K., Hallett, R., Sutherland, C., Simondon, K., Simondon, F., Alexander, N., Gaye, O., Targett, G., Lines, J., Greenwood, B., & Trape, J. F. (2006). Seasonal intermittent preventive treatment with artesunate and sulfadoxine-pyrimethamine for prevention of malaria in Senegalese children: a randomised, placebo-controlled, double-blind trial. *The Lancet*, 367(9511), 659-667.
- Cot, S., Matra, R., Rabarijaona, L., Robert, V., Raharimalala, L., Raveloson, A., & Arieu, F. (2006). Mise en évidence d'une transmission urbaine autochtone du paludisme à Antananarivo, Madagascar. *Médecine tropicale*, 66(2), 143-148.
- Cotter, C., Sturrock, H. J., Hsiang, M. S., Liu, J., Phillips, A. A., Hwang, J., Gueye, C. S., Fullman, N., Gosling, R. D., & Feachem, R. G. (2013). The changing epidemiology of malaria elimination: new strategies for new challenges. *The Lancet*, 382(9895), 900-911.
- Courade, G. (1997). Géographies CFA: de l'un au multiple, in Knafou, R. *L'état de la géographie. Autoscopie d'une science*. Paris : Belin, 261-265.
- Cox, F. E. (2002). History of human parasitology. *Clinical microbiology reviews*, 15(4), 595-612.
- Cox, J., & Abeku, T. A. (2007). Early warning systems for malaria in Africa: from blueprint to practice. *Trends in parasitology*, 23(6), 243-246.
- Cracknell, A., & Hayes, L. (1991). Introduction to remote sensing. London, New York, Philadelphia: Taylor & Francis, 293 p.
- Cramer, H. (1946). Mathematical methods of statistics. Princeton, Princeton University Press, 577 p.
- Curtis, S., & Riva, M. (2010). Health geographies I: complexity theory and human health. *Progress in Human Geography*, 34(2), 215-223.
- Czernichow, P., Chaperon, J., & Le Coutour, X. (2001). *Épidémiologie*. Paris : Masson, 443 p.
- D'Alessandro-Scarpari, C. (2005). *Géographes en brousse: un métissage spatial entre discours et pratiques*. Paris : L'Harmattan, 375 p.

Danis, M., & Mouchet, J. (1991). *Le paludisme*. Paris : Edition Marketing, Ellipses, 240 p.

Datt, G., & Ravallion, M. (1993). Regional Disparities, Targeting, and Poverty in India, in Lipton, M., & Van der Gaag, J. *Including the poor*. Banque Mondiale, 91-114.

Lessault, D., & Imbert, C. (2013). Mobilité résidentielle et dynamique récente du peuplement urbain à Dakar (Sénégal). *Cybergeo: European Journal of Geography*.

URL : <http://cybergeo.revues.org/26146> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26146

De Martonne, E. (1946). Géographie zonale la zone tropicale. *Annales de géographie*, 1-18.

De Rosnay, J. (1975). *Le macroscope, vers une vision globale*. Paris : éd. du Seuil, coll. Points, Essais, 314 p.

de Sherbinin, A. (2014). *Spatial Climate Change Vulnerability Assessments: A Review of Data, Methods, and Issues*. Rapport USAID, 70 p.

URL : [http://www.ciesin.org/documents/SpatialVulAsses\\_CLEARED\\_000.pdf](http://www.ciesin.org/documents/SpatialVulAsses_CLEARED_000.pdf)

De Silva, P. M., & Marshall, J. M. (2012). Factors contributing to urban malaria transmission in sub-Saharan Africa: a systematic review. *Journal of tropical medicine*. vol. 2012, 10 p.

Deichmann, U. (1999). *Geographic aspects of inequality and poverty*. Texte pour le site Internet de la banque mondiale, non publié.

URL : [http://siteresources.worldbank.org/INTPGI/Resources/Pro-Poor-Growth/5319\\_povmap.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTPGI/Resources/Pro-Poor-Growth/5319_povmap.pdf)

Deler, J. P. (1974). *Lima 1940-1970 : aspects de la croissance d'une capitale sud-américaine.*. Lima : centre d'études de géographie tropicale, 118 p.

Delvert, J. (1979). *Etudes de géographie médicale, tome 1 : Pays tropicaux*. Paris : bibliothèque nationale, 185 p.

Toupet, C. (1999). Demangeot J., Tropicalité. Géographie physique intertropicale. *Revue de géographie de Lyon*, 74(3), 252-252.

Dessalles, J. L., Müller, J. P., & Phan, D. (2007). Emergence in multi-agent systems: conceptual and methodological issues. *Agent-based modelling and simulation in the social and human sciences*, 327-355.

De Bernis, G. D. (1974). Le sous-développement, analyses ou représentations. *Revue Tiers Monde*, 103-134.

- Diallo, S., Konate, L., Faye, O., Ndir, O., Faye, M., Gueye, A., & Diouf, M. (1998a). Malaria in the southern sanitary district of Dakar (Senegal). 2. Entomologic data. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 91(3), 259-263.
- Diallo, S., Konate, L., Ndir, O., Dieng, T., Dieng, Y., Bah, I. B., Faye, O., & Gaye, O. (1998b). Malaria in the central health district of Dakar (Senegal). Entomological, parasitological and clinical data. *Santé*, 10(3), 221-229.
- Diallo, A., Ndam, N. T., Moussiliou, A., Dos Santos, S., Ndonky, A., Borderon, M., Oliveau, S., Lalou, R., & Le Hesran, J. Y. (2012a). Asymptomatic carriage of Plasmodium in urban Dakar: the risk of malaria should not be underestimated. *PLoS One*, 7(2).
- Diallo, A., Dos Santos, S., Lalou, R., & Le Hesran, J. Y. (2012b). Perceived malaria in the population of an urban setting: a skipped reality in Dakar, Senegal. *Malaria journal*, 11(1), 1-8.
- Dietz, K., Molineaux, L., & Thomas, A. (1974). A malaria model tested in the African savannah. *Bulletin of the World Health Organization*, 50(3-4), 347-357.
- Roux, A. D. (2011). Complex systems thinking and current impasses in health disparities research. *American Journal of Public Health*, 101(9), 1627-1634.
- Donnelly, M. J., McCall, P. J., Lengeler, C., Bates, I., D'Alessandro, U., Barnish, G., Konradsh, F., Klinkenber, E., Townson, H., Trape, J. F., Hasting, I. A., & Mutero, C. (2005). Malaria and urbanization in sub-Saharan Africa. *Malar J*, 4(1), 12.
- Dorier-Apprill E. (1993). *Environnement et Santé à Brazzaville (Congo). De l'écologie urbaine à la géographie sociale*. Thèse de géographie, Université Paris-X Nanterre-Orstom, 668 p.
- Dory D. (1995). La géographie de la santé comme discipline géographique. *Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie*, 39, 9-20.
- Douzant-Rosenfeld, D., & Grandjean, P. (1997). Les géographes et les aires culturelles, in Knafou, R. *L'état de la géographie. Autoscopie d'une science*. Paris : Belin, 248-258.
- Dowdle, W. R. (1998). The principles of disease elimination and eradication. *Bulletin of the World Health Organization*, 76(Suppl 2), 22-25.
- Dubos, R. (1973). *L'homme et l'adaptation au milieu*. Paris : Éditions Payot, Coll. Science de l'Homme, 472 p.
- Dubresson, A., Raison, J. P. (2003). *L'Afrique subsaharienne: une géographie du changement*. Paris : Masson, coll. U, 2<sup>nde</sup> édition, 248 p.

Durand-Dastès, F. (1992). Questions sur les modèles. *Groupe Dupont, Géopoint*, 92, 9-17.

Durand-Lasserve, A., Doumenge, J. P., Sautter, G., Dollfus, O., Durand-Dastès, F., Quach-Langlet, T., & Bonnemaïson, J. (1984). Géographie tropicale et géographie du Tiers Monde. *Espace géographique*, 13(4), 338-352.

Dureau, F., & Weber, C. (2001). D'images en modèles. Applications satellites et association de modèles, in Sanders, L. Modèles en analyse spatiale. Paris : HERMES Science Publications, 253–282.

Dureau, F., Barbary, O., Michel, A., & Lortic, B. (1989). *Sondages aréolaires sur image satellite pour des enquêtes socio-démographiques en milieu urbain*. Manuel de formation. Paris : Editions de l'ORSTOM, coll. Didactiques, 38 p.

Durieux, C., & Sall, M., (1929). Nouvelles recherches sur l'index du paludisme à Dakar durant la saison fraîche. *Bull. de la Société de l'Ouest Africain*, 22: 618-622.

Dutertre, J. (1976). Etude d'un modèle épidémiologique appliqué au paludisme. *Ann Soc Belge Med Trop*, 56, 127-141.

Ebert, A., & Kerle, N. (2008). Urban social vulnerability assessment using object-oriented analysis of remote sensing and GIS data. A case study for Tegucigalpa, Honduras. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 1307-1312.

Edmonds, B. (2005). Simulation and complexity—how they can relate, in Feldmann, V., & Mühlfeld, K. *Virtual worlds of precision—computer-based simulations in the sciences and social sciences*. Münster : Lit Verlag : 5-32.

Eliot, E., & Daudé, É. (2006). Diffusion des épidémies et complexités géographiques: perspectives conceptuelles et méthodologiques. *Espace populations sociétés. Space populations societies*, 2-3, 403-416.

URL : <http://eps.revues.org/1867>

Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. *Environmental health perspectives*, 112(9): 998-1006.

Enayati, A., & Hemingway, J. (2010). Malaria management: past, present, and future. *Annual review of entomology*, 55, 569-591.

Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Cambridge : MA, MIT Press, 224 p.



- Epstein, J. M. (2008). Why model?. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4, 12).
- Escofier, B., & Pagès, J. (2008). *Analyses factorielles simples et multiples: objectifs, méthodes et interprétation*. Paris : Dunod, 328 p.
- Everitt, B.S. (2002). *The Cambridge Dictionary of Statistics*, UK : Cambridge University Press, 360 p.
- Fall, S. T., & Fall, A. S. (2001). *Cités horticoles en sursis. L'agriculture urbaine dans les Grandes Niayes au Sénégal*. Ottawa : CRDI, 120p.
- FAO. (1968). *Report of the first session of the FAO panel of experts on integrated pest control*. Rome, September 18-22 1967. FAO-UN, Rome. Meet Rep PL/19671M/7, 19 p.
- Faye, S. L. (2012). Améliorer la prise en charge du paludisme par les tests de diagnostic rapide (TDR): appropriation par les prestataires et bénéficiaires de soins au Sénégal. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 105(3), 237-244.
- Faye, O., & Thioub, I. (2003). Les marginaux et l'État à Dakar. *Le mouvement social*, (3), 93-108.
- Feachem, R. G., Phillips, A. A., Hwang, J., Cotter, C., Wielgosz, B., Greenwood, B. M., Sabot, O., Rodriguez, M. H., Abeyasinghe, R. R., Ghebreyesus, T. A., & Snow, R. W. (2010). Shrinking the malaria map: progress and prospects. *The Lancet*, 376(9752), 1566-1578.
- Ferron, P. (1999). Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures*, 8, 389-396.
- Fessler, J. M. (2008). *Cindyniques et santé*. Paris : Economica, Coll. Cindyniques, sciences du danger, 160 p.
- Flanders, D., Hall-Beyer, M., & Pereverzoff, J. (2003). Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(4), 441-452.
- Fleuret, S., & Hoyez, A. C. (2011). *Santé et géographie, nouveaux regards*. Paris : Editions Economica-Anthropos, 302 p.
- Fleuret, S., & Thouez, J. P. (2007). *Géographie de la santé, un panorama*. Paris : Editions Economica-Anthropos, 301 p.

- Fogh, S., Jepsen, S., & Effersøe, P. (1979). Chloroquine-resistant *Plasmodium falciparum* malaria in Kenya. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 73(2), 228-229.
- Franckel, A. (2004). *Les comportements de recours aux soins en milieu rural au Sénégal: le cas des enfants fébriles à Niakhar*. Thèse, Paris X Nanterre, 465 p.
- Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., & Kahlenborn, W. (2014). *The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*. Bonn und Eschborn : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 180 p.
- Gadiaga, L., Machault, V., Pagès, F., Gaye, A., Jarjaval, F., Godefroy, L., Cissé, B., Lacaux, J. P., Sokhna, C., Trape, J. F., & Rogier, C. (2011). Conditions of malaria transmission in Dakar from 2007 to 2010. *Malar J*, 10(312), 10-1186.
- Gaillard, J., & Waast, R. (1988). La recherche scientifique en Afrique. *Afrique contemporaine*, 148, 3-30.
- Gallais, J. (1994). *Les Tropiques: Terres de risques et de violences*. Paris : Armand Colin, 200 p.
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change*, 16(3), 293-303.
- Gardella, F., Assi, S., Simon, F., Bogreau, H., Eggelte, T., Ba, F., Foumane, V., Henry M. C., Kientega, P. T., Basco, L., Trape, J. F., Lalou, R., Martelloni, M., Desbordes, M., Baragatti, M., Briolant, S., Almeras, L., Pradines, B., Fusai, T., & Rogier, C. (2008). Antimalarial drug use in general populations of tropical Africa. *Malaria journal*, 7(1), 124.
- Gatrell, A., & Löytönen, M. (1998). *GIS and Health*. London : Taylor & Francis, 212 p.
- Gatrell, A. (2003). Complexity theory and geographies of health: a modern and global synthesis?. Paper for Complexity Group Lancaster University. UK : Institute for Health Research.
- Gatrell, A. C. (2005). Complexity theory and geographies of health: a critical assessment. *Social Science & Medicine*, 60(12), 2661-2671.
- Gatrell, A. C., & Elliott, S. J. (2014). *Geographies of health: An introduction*. John Wiley & Sons, 304 p.
- Gaudart, J. (2007). *Analyse spatio-temporelle et modélisation des épidémies: application au paludisme à P. falciparum*. 2007. Thèse, Université Aix Marseille 2, 121 p.

- Gilly, C. (1934). Activité du service d'hygiène de la circonscription de Dakar pendant l'hivernage 1933 (1er juin au 1er décembre). *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 27(1), 87-93.
- Girard, M. C., & Girard, C. M. (2010). *Traitement des données de télédétection-2ème édition- Environnement et ressources naturelles: Environnement et ressources naturelles*. Paris : Dunod, 576 p.
- Goetz, S. J., Prince, S. D., & Small, J. (2000). Advances in satellite remote sensing of environmental variables for epidemiological applications. *Advances in Parasitology*, 47, 289-307.
- Goldstein, J. (1999). Emergence as a construct: History and issues. *Emergence*, 1(1), 49-72.
- Goodchild, M. F., & Janelle, D. G. (2004). *Spatially Integrated Social Science*. New-York : coll. Spatial Information Systems, Oxford University Press, 456 p.
- Gould, P. (1968). The new geography: where the action is. *Harper's Magazine*.
- Gourou, P. (1947). *Pays tropicaux, principes d'une géographie humaine et économique*. Paris : PUF, 196 p.
- Gourou, P. (1949). Qu'est-ce que: Le monde tropical?. In *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, Vol. 4, No. 2, 140-148.
- Gourou, P. (1973). *Pour une géographie humaine*. Paris : Flammarion, coll. Nouvelle bibliothèque scientifique, 388 p.
- Gourou, P. (1982). *Terres de bonne espérance: le monde tropical*. Paris : Plon, col. Terre humaine, 456 p.
- Gourou, P. (1991). *L'Afrique tropicale, nain ou géant agricole?*. Paris : Flammarion, 229 p.
- Gouvernement de la République du Sénégal. (2010). *Rapport d'évaluation des besoins post catastrophe Inondations urbaines à Dakar 2009*, 191 p.
- Greenwood, B. M., Fidock, D. A., Kyle, D. E., Kappe, S. H., Alonso, P. L., Collins, F. H., & Duffy, P. E. (2008). Malaria: progress, perils, and prospects for eradication. *The Journal of clinical investigation*, 118(4), 1266-1276.
- Gruénais, M. É. (1995). Anthropologie médicale appliquée. In Baré, J. E. *Les applications de l'anthropologie: un essai de réflexion collective depuis la France*, Paris : Khartala, 179-220.
- Gruénais, M. E., & Pourtier, R. (2000). La santé en Afrique: anciens et nouveaux défis. *Afrique contemporaine*, vol. 195.

Guérin, M., Gosselin, P., Cordier, S., Viau, C., Quénel, P., & Dewailly, E. (2003). *Environnement et santé publique. Fondements et pratiques*. Québec : Edisem, Paris : Editions Tec&doc.

URL : <http://www.dsest.umontreal.ca/documents/EnvSantPubWeb.pdf>

Guernier, V. (2006). *Combiner analyse spatiale et épidémiologie pour l'aide à la décision dans la lutte contre la tuberculose en Guyane française*. Thèse, Université d'Orléans, 224 p.

Guerra, C. A., Gikandi, P. W., Tatem, A. J., Noor, A. M., Smith, D. L., Hay, S. I., & Snow, R. W. (2008). The limits and intensity of Plasmodium falciparum transmission: implications for malaria control and elimination worldwide. *PLoS Med*, 5(2), e38.

Guerra, M., Walker, E., Jones, C., Paskewitz, S., Cortinas, M. R., Stancil, A., Beck L, Bobo M & Kitron, U. (2002) Predicting the Risk of Lyme Disease: Habitat Suitability for *Ixodes scapularis* in the North Central United States. *Emerg Infect Dis*, 8 (3): 289-97.

Guilmoto, C.Z., Oliveau, S., Vingadassamy, S., (2002). Un système d'information géographique en Inde du Sud : Théorie, mise en œuvre et applications thématiques. *Espace, Populations et sociétés*, 147-163.

Guis, H. (2007). *Géomatique et épidémiologie: caractérisation des paysages favorables à Culicoides imicola, vecteur de la fièvre catarrhale ovine en Corse*. Thèse, Université de Franche-Comté, 419 p.

Gutmann, M. P., Deane, G. D., Merchant, E. R., & Sylvester, K. (2011). *Navigating time and space in population studies* (Vol. 9). Netherlands : Springer Science & Business Media, 245 p.

Hallé, F. (1993). *Un monde sans hiver: les tropiques, nature et sociétés*. Paris :Ed. du Seuil, 384 p.

Handschumacher, P., Laffly, D., & Hervouët, J. P. (2002). De l'écologie des maladies à la mise en évidence d'indicateurs de risque sanitaire. Pour une géographie appliquée à la santé publique en Afrique subsaharienne, *Historiens et Géographes*, 379, 297-304.

Harbach, R. E. (2004). The classification of genus Anopheles (Diptera: Culicidae): a working hypothesis of phylogenetic relationships. *Bulletin of entomological research*, 94(06), 537-553.

Harpham, T., & Stephens, C. (1990). Urbanization and health in developing countries. *World health statistics quarterly. Rapport trimestriel de statistiques sanitaires mondiales*, 44(2), 62-69.

Hay, S. I. (2000). An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Advances in parasitology*, 47, 1-35.

- Hay, S. I., Guerra, C. A., Tatem, A. J., Noor, A. M., & Snow, R. W. (2004). The global distribution and population at risk of malaria: past, present, and future. *The Lancet infectious diseases*, 4(6), 327-336.
- Hay, S. I., & Snow, R. W. (2006). The Malaria Atlas Project: developing global maps of malaria risk. *PLoS Med*, 3(12), e473.
- Hay, S. I., Smith, D. L., & Snow, R. W. (2008). Measuring malaria endemicity from intense to interrupted transmission. *The Lancet infectious diseases*, 8(6), 369-378.
- Hay, S. I., Sinka, M. E., Okara, R. M., Kabaria, C. W., Mbithi, P. M., Tago, C. C., Benz, D., Gething, P. W., Howes, R. E., Patil, A. P., Temperley, W. H., Bangs, M. J., Chareonviriyaphap, T., Elyazar, I. R., Harbach, R. E., Hemingway, J., Manguin, S., Mbogo, C. M., Rubio-Palis, Y., & Godfray, H. C. (2010). Developing global maps of the dominant Anopheles vectors of human malaria. *PLoS Med*, 7(2), e1000209.
- Hethcote, H. W. (1974). Asymptotic behavior and stability in epidemic models. *Mathematical Problems in Biology*, 83-92.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden order: How adaptation builds complexity*. New York : Addison-Wesley, 185 p.
- Holland, J. H. (1998). *Emergence: form chaos to order*. Oxford : University Press, 258 p.
- Jacob, B. G., Muturi, E. J., Funes, J. E., Shililu, J. I., Githure, J. I., Kakoma, I. I., & Novak, R. J. (2006). A grid-based infrastructure for ecological forecasting of rice land Anopheles arabiensis aquatic larval habitats. *Malaria Journal*, 5(1), 91.
- Jalan, J., & Ravallion, M. (1997). Spatial poverty traps?. *World Bank Policy Research Working Paper*, n°1862.
- Jensen, J. R., & Cowen, D. C. (1999). Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 65, 611-622.
- Joy, D. A., Feng, X., Mu, J., Furuya, T., Chotivanich, K., Krettli, A. U., & Su, X. Z. (2003). Early origin and recent expansion of Plasmodium falciparum. *science*, 300(5617), 318-321.
- Kawachi, I., & Berkman, L. (2000). Social cohesion, social capital, and health. *Social epidemiology*, in Berkman, L. F., & Kawachi, I. *Social Epidemiology*. Oxford University Press, 174-190.
- Keating, J., Macintyre, K., Mbogo, C. M., Githure, J. I., & Beier, J. C. (2004). Characterization of potential larval habitats for Anopheles mosquitoes in relation to urban land-use in Malindi, Kenya. *International Journal of Health Geographics*, 3(1), 9.

- Keating, J., Macintyre, K., Mbogo, C., Githeko, A., Regens, J. L., Swalm, C., & Beier, J. C. (2003). A geographic sampling strategy for studying relationships between human activity and malaria vectors in urban Africa. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 68(3), 357-365.
- Keiser, J., Utzinger, J., De Castro, M. C., Smith, T. A., Tanner, M., & Singer, B. H. (2004). Urbanization in sub-saharan Africa and implication for malaria control. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 71(2 suppl), 118-127.
- Kerouedan, D. (2011). *Santé Internationale Les enjeux de santé au Sud*. Paris : Les Presses de SciencesPo, 592 p.
- Khormi, H. M., & Kumar, L. (2011). Modeling dengue fever risk based on socioeconomic parameters, nationality and age groups: GIS and remote sensing based case study. *Science of the Total Environment*, 409(22), 4713-4719.
- Kiechel, J. R., & Pécou, B. L. (2007). ASAQ. Une avancée dans la lutte contre le paludisme. *Med Trop*, 67, 109-110.
- Kienberger, S., & Hagenlocher, M. (2014). Spatial-explicit modeling of social vulnerability to malaria in East Africa. *Int J Health Geogr*, 13(29).
- Kitron, U. (1998). Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis. *Journal of medical entomology*, 35(4), 435-445.
- Knafou, R. (1997). *L'état de la géographie: autoscopie d'une science*. Paris : Belin, 438 p
- Knudsen, A. B., & Slooff, R. (1992). Vector-borne disease problems in rapid urbanization: new approaches to vector control. *Bulletin of the World Health Organization*, 70(1), 1-6.
- Koella, J. C., & Antia, R. (2003). Epidemiological models for the spread of anti-malarial resistance. *Malaria Journal*, 2(1), 3.
- Koella, J. C. (1991). On the use of mathematical models of malaria transmission. *Acta tropica*, 49(1), 1-25.
- Koné, K. G. (2012). *L'équité de l'accès aux soins dans un contexte de subvention des médicaments: une analyse économétrique des déterminants du recours aux soins à Dakar*. Thèse, Université Cheikh Anta Diop, 269 p.
- Koopman, J. (2004). Modeling infection transmission. *Annu. Rev. Public Health*, 25, 303-326.

- Koram, K. A., & Molyneux, M. E. (2007). When is “malaria” malaria? The different burdens of malaria infection, malaria disease, and malaria-like illnesses. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 77(6 Suppl), 1-5.
- Kouadio, A. S., Cissé, G., Obrist, B., Wyss, K., & Zingsstag, J. (2006). Fardeau économique du paludisme sur les ménages démunis des quartiers défavorisés d’Abidjan, Côte d’Ivoire. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*.  
URL : <http://vertigo.revues.org/1776?lang=pt>
- Krieger, N. (1994). Epidemiology and the web of causation: has anyone seen the spider?. *Social science & medicine*, 39(7), 887-903.
- Lacoste, Y. (1993). *Dictionnaire de géopolitique*. Paris : Flammarion, 1679 p.
- Lacoste, Y. (1965). *Géographie du sous-développement*. Paris : PUF, 287 p.
- Lall, S. V., & Deichmann, U. (2009). Density and disasters: economics of urban hazard risk. *World Bank Policy research working paper*, No.5161.  
URL : [http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2009/12/29/000158349\\_20091229205549/Rendered/PDF/WPS5161.pdf](http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2009/12/29/000158349_20091229205549/Rendered/PDF/WPS5161.pdf)
- Lalou, R. (2008). Extrait du compte rendu final d'ACTUPALU, *Rapport scientifique 2008*.  
URL : <http://fr.calameo.com/books/0001329037be93e1ded73>
- Lambin, E. F. (2001). Remote sensing and GIS analysis. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, 13150-13155.
- Lambin, E. F., Tran, A., Vanwambeke, S. O., Linard, C., & Soti, V. (2010). Pathogenic landscapes: interactions between land, people, disease vectors, and their animal hosts. *International Journal of Health Geographics*, 9(54), 1-13.
- Landy, F., Lézy, E., & Moreau, S. (2007). *Les raisons de la géographie: itinéraires au Sud avec Jean-Pierre Raison*. Paris : Karthala Editions, 327 p.
- Laperrière, V. (2009). *Apport de la modélisation individu-centrée spatialement explicite à la compréhension de l'expression d'une maladie transmissible : la peste bubonique à Madagascar*. Thèse, Université de Pau, 296 p.
- Laughlin, R. B. (2005). *Un univers différent*. Paris : Fayard, 312 p.
- Le Bras, J., Musset, L., & Clain, J. (2006). Antimalarial drug resistance. *Médecine et maladies infectieuses*, 36(8), 401-405.

Le comité de rédaction de l'Espace géographique. (2011). Les controverses de L'Espace géographique. *L'Espace géographique*, Tome 40, 76-93.

URL : [www.cairn.info/revue-espace-geographique-2011-1-page-76.htm](http://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2011-1-page-76.htm).

Le Hesran, J. Y. (2000). Les particularités du paludisme chez l'enfant. *Med Trop*, 60(1), 92-98.

Le Lannou, M. (1936). Le rôle géographique de la malaria, *Annales de géographie*, 113-135.

Le Moal, M. (1906). Campagne antipaludique à Conakry en 1905. *Ann. Hyg. Med. Colon*, 9, 550-562.

Le Moigne, J. (1999.) *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Dunod, Collection: Sciences humaines, 192 p.

Le Bras, M., & Malvy, D. (2004). Le paludisme à l'heure du «Roll Back Malaria». *Med. Trop*, 64, 576-578.

Legay, J. M. (1997). *L'expérience et le modèle: un discours sur la méthode*. Paris : Sciences en questions, Inra, 112 p.

Léger, A. (1919). Le paludisme à Dakar. *Bull. Société Médico Chirurgicale de l'Ouest Africain*, 2: 2-5.

Léger, A., & Baury, M. (1922). Index endémique du paludisme au Sénégal durant la saison sèche. *Bull. de la Société de l'Ouest Africain*, 15, 766-767.

Legros, O. (2007). L'internationalisation des politiques urbaines et ses effets sur le gouvernement des villes du " Sud". *Territoires en action et dans l'action*, 229-240.

Lévi-Strauss, C., (1968). Introduction à l'œuvre de Marcel Mauss, in Mauss, M. *Sociologie et anthropologie* (4<sup>ème</sup> éd.). Paris : PUF, 24.

Li, J., Welch, R. M., Nair, U. S., Sever, T. L., Irwin, D. E., Cordon-Rosales, C., & Padilla, N. (2002). Dynamic malaria models with environmental changes. *System Theory, 2002. Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium*, 396-400.

Linard, C., Alegana, V. A., Noor, A. M., Snow, R. W., & Tatem, A. J. (2010). A high resolution spatial population database of Somalia for disease risk mapping. *Int J Health Geogr*, 9(45), 10-1186.

Locher, F., & Quenet, G. (2009). L'histoire environnementale: origines, enjeux et perspectives d'un nouveau chantier. *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 56-4, 7-38.

Louiset, O. (2011). *Introduction à la ville*. Paris : Armand Colin, 189 p.



- Lundqvist, J., Larsson, C., Nelson, M., Andersson, M., Bergström, S., & Persson, C. (2010). Concomitant infection decreases the malaria burden but escalates relapsing fever borreliosis. *Infection and immunity*, 78(5), 1924-1930.
- Macdonald, G. (1956). Epidemiological basis of malaria control. *Bulletin of the World Health Organization*, 15(3-5), 613.
- Machault, V., Orlandi-Pradines, E., Michel, R., Pagès, F., Texier, G., Pradines, B., Fusaï, T., Boutin, J.-P., & Rogier, C. (2008). Remote Sensing and Malaria Risk for Military Personnel in Africa. *Journal of Travel Medicine*, 15: 216–220.
- Machault, V., Pagès, F., & Rogier, C. (2009). Apport de la télédétection à la lutte contre le paludisme. *Médecine tropicale*, 69 (2), 151-159.
- Machault, V., Gadiaga, L., Vignolles, C., Jarjaval, F., Bouzid, S., Sokhna, C., Lacaux, J. P., Trape, J. F., Rogier, C., & Pagès, F. (2009). Highly focused anopheline breeding sites and malaria transmission in Dakar. *Malar J*, 8(138), 1475-2875.
- Machault, V. (2010). *Utilisation de données d'observation de la terre par satellite pour l'évaluation des densités vectorielles et de la transmission du paludisme*. Thèse, Université Aix Marseille 2, 259 p.
- Machault, V., Vignolles, C., Pagès, F., Gadiaga, L., Gaye, A., Sokhna, C., Trape, J. P., Lacaux, J. P., & Rogier, C. (2010). Spatial heterogeneity and temporal evolution of malaria transmission risk in Dakar, Senegal, according to remotely sensed environmental data. *Malaria journal*, 9(1), 252.
- Machault, V., Vignolles, C., Borch, F., Vounatsou, P., Briolant, S., Lacaux, J. P., & Rogier, C. (2011). The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospatial health*, 5(2), 151-168.
- Machault, V., Vignolles, C., Pagès, F., Gadiaga, L., Tourre, Y. M., Gaye, A., Sokhna, C., Trape, J. P., Lacaux, J. P., & Rogier, C. (2012). Risk mapping of *Anopheles gambiae* sl densities using remotely-sensed environmental and meteorological data in an urban area: Dakar, Senegal. *Plos One*, 7(11).
- Mainet, G. (1985). *Douala: croissance et servitudes*. Paris : L'Harmattan, 611 p.
- Malvy, D., Djossou, F., Thiebaut, R., & Le Bras, M. (2000). Plasmodies-Malaria, Formes cliniques, diagnostic. *Encycl Méd Chir Maladies Infectieuses*, 8-507.
- Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum*, 32(3), 405-414.

- MARA/ARMA. (1999). *Vers un atlas du risque de la malaria en Afrique*. Premier rapport technique de la collaboration MARA/ARMA, Durban.  
URL : [http://www.mara-database.org/docs/FR\\_ARMA\\_Rap\\_Tech.pdf](http://www.mara-database.org/docs/FR_ARMA_Rap_Tech.pdf)
- Marguerat, Y. (1982). La géographie francophone en Afrique noire: essai de description quantitative. *Cahiers d'Outre-Mer*, (138), 161-178.
- Martens, P., & Hall, L. (2000). Malaria on the move: human population movement and malaria transmission. *Emerging infectious diseases*, 6(2), 103-109.
- Martini, J. (2011). Paludisme: progrès mitigés et nouveaux espoirs, in Kerouedan, D. *Santé internationale: les enjeux de santé au Sud*, p. 75-87.
- Massé, R. (2010). Les nouveaux défis pour l'anthropologie de la santé. *Anthropologie & Santé. Revue internationale francophone d'anthropologie de la santé*, (1).  
URL : <http://anthropologiesante.revues.org/116> ; DOI : 10.4000/anthropologiesante.116
- May, J. M. (1959). *The Ecology of Human Disease*. 1st volume. New York : M. D. Publications, 327 p.
- Mayer, J. D. (1983). The role of spatial analysis and geographic data in the detection of disease causation. *Social Science & Medicine*, 17(16): 1213-1221.
- McCarthy, J. J. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.  
URL : [http://www.preventionweb.net/files/8387\\_wg2TARfrontmatter1.pdf](http://www.preventionweb.net/files/8387_wg2TARfrontmatter1.pdf)
- McKenzie, F. E. (2000). Why model malaria?. *Parasitology Today*, 16(12), 511-516.
- Méha, C., Godard, V., Moulin, B., & Haddad, H. (2012). La borréliose de Lyme: un risque sanitaire émergent dans les forêts franciliennes?. *Cybergeo: European Journal of Geography*.  
URL : <http://cybergeo.revues.org/25285> ; DOI : 10.4000/cybergeo.25285
- Ménard, B. (2002). Questions de géographie de la santé. *L'Espace géographique*, 3/2002, tome 31, 264-275.
- Millet, P. (2011). Le traitement du paludisme en Afrique sub-saharienne: des progrès notables mais des mesures pas toujours applicables. *Médecine Tropicale*, 71, 5-6.
- Ministère de la Santé et de la Prévention Médicale. (2006) *Enquête Démographique et de Santé, Sénégal 2005*. Gouvernement du Sénégal, 359 p.

- Minvielle, J. P., Diop, A. F., & Niang, A. (2005). *La pauvreté au Sénégal: des statistiques à la réalité*. Paris : Karthala, 287 p.
- Moiroux, N. (2012). *Modélisation du risque d'exposition aux moustiques vecteurs de Plasmodium spp. dans un contexte de lutte anti-vectorielle*. Thèse, Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, 251 p.
- Molineaux, L., Dietz, K., & Thomas, A. (1978). Further epidemiological evaluation of a malaria model. *Bulletin of the World Health Organization*, 56(4), 565-571.
- Molineaux, L., & Dietz, K. (1999). Review of intra-host models of malaria. *Parassitologia*, 41(1-3), 221-231.
- Monnet, J. (1993). *La ville et son double: images et usages du centre, la parabole de Mexico*. Paris : Nathan, 224 p.
- Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Paris : éd. ESF, 158 p.
- Mouchet, J., Carnevale, P., Coosemans, M., Julvez, J., Manguin, S., Richard-Lenoble, D., & Sircoulon, J. (2004) *Biodiversité du paludisme dans le monde*. Montrouge : John Libbey Eurotext,, 428 p.
- Mouchet, J., Carnevale, P., Coosemans, M., Fontenille, D., Ravaonjanahary, C., Richard, A., & Robert, V. (1993). Typologie du paludisme en Afrique. *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*, 3(4), 220-238.
- Mouchet, J., Robert, V., Carnevale, P., Ravaonjanahary, C., Coosemans, M., Fontenille, D., & Lochouarn, L. (1991). Le défi de la lutte contre le paludisme en Afrique tropicale: place et limite de la lutte antivectorielle. *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*, 1(4), 277-288.
- Mouchet, J., & Hamon, J. (1963). Les problèmes techniques de l'éradication du paludisme en Afrique. *Cah ORSTOM, Sér Ent Méd*, 33, 39-48.
- Mouchet, J. (1986). La lutte antivectorielle dans la lutte antipaludique, in *Congres sur la Protection de la Santé Humaine et des Cultures en Milieu Tropical. Marseille (France). 2-4 Jul 1986*.
- Munier, A., Diallo, A., Sokhna, C., Senghor, P., Ba, F., & Chippaux, J. P. (2009). Évaluation de la fiabilité du diagnostic clinique de paludisme chez les enfants consultant dans trois postes de santé périphériques, dans la zone rurale de Niakhar au Sénégal. *Bull Soc Pathol Exot*, 102(2), 113-118.

- Mwenesi, H. A. (2005). Social science research in malaria prevention, management and control in the last two decades: An overview. *Acta Tropica*, 95(3), 292-297.
- N'Donky, A. (2011). *Contextes spatiaux et recours aux soins en cas de fièvre chez l'enfant de 2 à 10 ans dans l'agglomération de Dakar*. Thèse, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 316 p.
- Nájera, J. A., González-Silva, M., & Alonso, P. L. (2011). Some lessons for the future from the Global Malaria Eradication Programme (1955–1969). *PLoS Med*, 8(1), e1000412.
- Ndiaye, A. (2011). Contraintes environnementales et désarticulation spatiale au Sénégal: exemple des inondations récurrentes à Pikine. *Territoires d'Afrique*, (2), 62-69.
- Ndiaye, S., & Ayad, M. (2009). *Enquête Nationale sur le Paludisme au Sénégal 2008-2009*. Calverton, Maryland, USA: Centre de Recherche pour le Développement Humain (Sénégal) et ICF Macro, 152 p.
- N'donky, A., Oliveau, S., Soumaré, M. A., & Lalou, R. (2015-en cours). Analyse des contextes spatiaux d'une métropole ouest-africaine (Dakar, Sénégal), 23 p, non encore publié.
- Ndoye, T. (2008). *La société sénégalaise face au paludisme: politiques, savoirs et acteurs*. Paris : Karthala Editions, 312 p.
- Ngom, R., & Siegmund, A. (2010). Urban malaria in Africa: an environmental and socio-economic modelling approach for Yaoundé, Cameroon. *Natural hazards*, 55(3), 599-619.
- Ngwa, G. A., & Shu, W. S. (2000). A mathematical model for endemic malaria with variable human and mosquito populations. *Mathematical and Computer Modelling*, 32(7), 747-763.
- Noranate, N., Durand, R., Tall, A., Marrama, L., Spiegel, A., Sokhna, C. & Mercereau-Puijalon, O. (2007). Rapid dissemination of *Plasmodium falciparum* drug resistance despite strictly controlled antimalarial use. *Plos One*, 1:139.
- Nordstrand, A., Bunikis, I., Larsson, C., Tsogbe, K., Schwan, T. G., Nilsson, M., & Bergström, S. (2007). Tickborne relapsing fever diagnosis obscured by malaria, Togo. *Emerging infectious diseases*, 13(1), 117.
- O'Meara, W. P., Smith, D. L., & McKenzie, F. E. (2006). Potential impact of intermittent preventive treatment (IPT) on spread of drug-resistant malaria. *PLoS Med*, 3(5), e141.
- Oliveau, S., Audard, F., Bonnefoy, J.L., & N'Donky, A. (2009). Retour sur une expérience d'échantillonnage spatial. Choix de lieux d'enquête dans l'agglomération dakaroise. *Colloque Théoquant*, 04-06 mars 2009, Besançon.

Oliveau, S. (2010). Autocorrélation spatiale : leçons du changement d'échelle. *Espace géographique*, 39(1), 51-64.

Oliveau, S. (2011). L'espace compte ! Mesurer les structures spatiales du changement social, HDR Volume 1, Aix Marseille Université, 132 p.

Olshansky, S. J., Carnes, B. A., Rogers, R. G., & Smith, L. (1998). Emerging infectious diseases: the Fifth stage of the epidemiologic transition?. *World Health Statistics Quarterly*, 51(2-4), 207-17.

Omran, A. R. (1971). The epidemiologic transition: a theory of the epidemiology of population change. *The Milbank Memorial Fund Quarterly*, 509-538.

OMS. (1946). Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19-22 juin 1946; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 Etats. *Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé*, 2, 100.

OMS. (1955). Eighth World Health Assembly (Mexico, D.F., 10–27 May 1955). *Official records of the World Health Organization*. Geneva: World Health Organization, (63), 236–240.

OMS, (2002). *Le paludisme : systèmes de pré-alerte, Faire reculer le paludisme*.

URL : [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67392/1/WHO\\_CDS\\_RBM\\_2001.32\\_fre.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67392/1/WHO_CDS_RBM_2001.32_fre.pdf)

OMS. (2006). *Programme mondial de lutte antipaludique: stratégie pour améliorer l'accès au traitement par la prise en charge du paludisme à domicile*.

URL :

[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70074/1/WHO\\_HTM\\_MAL\\_2005.1101\\_fre.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70074/1/WHO_HTM_MAL_2005.1101_fre.pdf)

OMS. (2007). *Malaria elimination: a field manual for low and moderate endemic countries*.

URL : [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43796/1/9789241596084\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43796/1/9789241596084_eng.pdf)

OMS. (2008). *World malaria report 2008*. Genève : World Health Organization, 191 p.

OMS. (2011). *Principes directeurs pour la gestion des pesticides utilisés en santé publique dans la région africaine de l'OMS*. Genève : WHO, 62 p.

OMS, ONU-HABITAT. (2010). *La face cachée des villes: mettre au jour et vaincre les inégalités en santé en milieu urbain*.

URL : [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44469/1/WHO\\_NMH\\_WKC\\_10.1\\_fre.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44469/1/WHO_NMH_WKC_10.1_fre.pdf)

ONU-HABITAT. (2010). *L'état des Villes Africaines 2010. Gouvernance, Inégalités et Marchés Fonciers Urbains*.

URL :<http://unhabitat.org/books/letat-des-villes-africaines-2010-gouvernance-inegalite-et-marches-fonciers-urbains/>

Onwujekwe, O., Malik, E. F. M., Mustafa, S. H., & Mnzava, A. (2005). Socio-economic inequity in demand for insecticide-treated nets, in-door residual house spraying, larviciding and fogging in Sudan. *Malaria journal*, 4(1), 62.

Openshaw, S. (1984). *The Modifiable Areal Unit Problem*. Norwich : Geo Books.

Pages, F., Orlandi-Pradines, E., & Corbel, V. (2007). Vecteurs du paludisme: biologie, diversité, contrôle et protection individuelle. *Médecine et maladies infectieuses*, 37(3), 153-161.

Pagès, F., Texier, G., Pradines, B., Gadiaga, L., Machault, V., Jarjaval, F., Penhoat, K., Berger, F., Trape, J. F., Rogier, C., & Sokhna, C. (2008). Malaria transmission in Dakar: a two-year survey. *Malar Journal*, 7:178.

Pain, M. (1979). *Kinshasa: écologie et organisation urbaines*. Thèse, Université Toulouse Le Mirail, Institut de géographie Daniel Faucher, 470 + 223 p.

Pélissier, P. (1966). *Les paysans du Sénégal*. Saint Yrieix : Imprimerie Fabrègue, 939 p.

Pelling, M. (2003). *The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience*. London : Earthscan, 212 p.

Picheral, H. (1976). *Espace et santé: géographie médicale du Midi de la France*. Montpellier : Imprimerie du « Paysan du Midi », 425 p.

Picheral, H. (1984). La géographie de la santé, in Bailly, A. S. *Concepts de la géographie*. Paris : Masson, 173-180.

Picheral, H. (2001). *Dictionnaire raisonné de géographie de la santé*. Montpellier : GEOS, Université de Montpellier-III, 307 p.

Picheral, H. (1982). Géographie médicale, géographie des maladies, géographie de la santé. *Espace géographique*, 11(3), 161-175.

Pilkington, H. (2004). *Les lieux du paludisme; approche géographique des facteurs de confusion dans une enquête d'épidémiologie du paludisme (Dienga, Gabon)*. Thèse, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, 319 p.

- Pollack, H. N. (2003). *Uncertain science... uncertain world*. Cambridge University Press, 243 p.
- Pourtier, R. (2008). Controverses tropicales: le paradigme perdu et retrouvé. *Les tropiques des géographes*, 147-157.
- Pourtier, R. (2003). L'Afrique centrale dans la tourmente. *Hérodote*, 111(4), 11-39.
- Pourtier, R. (2007). Le «terrain» pour les tropicalistes. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 84(4), 437-445.
- Programme National de Lutte contre le Paludisme. (2008). *Morbidité et Mortalité Palustre au Sénégal en 2008*. Synthèse données Districts & Hôpitaux, extraits de la base de données RBMME 2008, 10 p.
- Prothero, R. M. (1961). Population movements and problems of malaria eradication in Africa. *Bulletin of the World Health Organization*, 24(4-5), 405-425.
- Prothero, R. M. (1977). Disease and mobility: a neglected factor in epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, 6(3), 259-267.
- Pumain, D., & Saint-Julien, T. (2001). *Les interactions spatiales*. Paris :Armand-Colin, Cursus Géographie, 191 p.
- Pumain, D., & Saint-Julien, T. (2004). *L'analyse spatiale. 1: Localisations dans l'espace*. Paris : Armand Colin, Coll. Cursus, 2<sup>nd</sup> édition, 167 p.
- Racine, J. (1986). Calcutta. *La ville, sa crise et le débat sur la planification et l'aménagement urbain*. Paris :Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 500 p.
- Raffestin, C. (1995). Géographie et écologie humaine, in Bailly, A., Ferras, R., & Pumain, D. *Encyclopédie de géographie*. Paris : Economica, 2<sup>nd</sup> édition, 1167 p.
- Raison, J. (1997). Les thèses sur l'Afrique tropicale: fleuron de la géographie française ou domaine en crise larvée?, in Knafou, R. *L'état de la géographie. Autoscopie d'une science*. Paris : Belin, coll. Mappemonde, 196-206.
- Raison, J. P. (1981). La géographie africaine en France. *Etudes africaines en Europe*, vol.1, Paris : ACCT/Khartala, 591-629.
- Raison, J. P. (2000). Pierre Gourou, artisan... in Gourou, P., Nicolai, H., Pélissier, P., & Raison, J. P. *Un géographe dans son siècle: actualité de Pierre Gourou*, 141-154.
- Raison, J. P. (2007). Nommer, c'est créer un peu. *Autrepart*, (1), 57-68.

- Pavé, A. (2011). L'interdisciplinarité dans la recherche scientifique 35 ans d'expérience au CNRS Un passé brillant, mais un avenir incertain. *Rapport interne du CNRS*. p. 1-15.,
- Ravallion, M., & Wodon, Q. (1997). *Poor areas, or only poor people? Policy research working paper*, No.1798, Development Research Group, The World Bank, Washington, DC.
- RBM. (2010). *Focus sur le Sénégal*. Genève : Collection Progrès et impact N°4, Organisation mondiale de la Santé, 56 p.
- RBM. (2010) *Modélisation mathématique pour le contrôle et l'élimination du paludisme*. Genève : Collection Progrès et Impact, N°5, Organisation mondiale de la Santé, 48 p.
- RBM. (2011). *Dix ans de partenariat et de résultat*. Genève : Collection Progrès et impact N°7, Organisation mondiale de la Santé, 139 p.
- Reitsma, F. (2003). A response to simplifying complexity. *Geoforum*, 34(1), 13-16.
- Rémy, G. (1988a). Spécificités urbaines du paludisme en Afrique tropicale. *Bulletin Ecologie Humaine*, 6, (2), 3-20.
- Rémy, G. (1988b). *Paysages et milieux épidémiologiques dans l'espace ivoiro-burkinabé: étude de géographie des principales maladies transmissibles*. Edition abrégée de la thèse d'État, Talence, CEGET-CNRS, 265 p.
- Retaillé, D. (1999). Jean Gallais (1926-1998). *Annales de Géographie*, 108(605), 90-95.
- Retaillé, D. (2003) *Tropicale (Géographie)*, in Lévy, J. & Lussault, M. *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Paris : Belin, 939-941.
- Ricard, A. (2004). De l'africanisme aux études africaines. Textes et humanités. *Afrique et histoire*, 2, 171-192.
- Robequain, C. (1946). *Le monde malais*. Paris : Payot, 510 p.
- Robequain C. (1929). *Le Tanh Hoa, étude géographique d'une province annamite*. Paris : École française d'Extrême-Orient, 2 vol., 636 p.
- Castel, R. (1994). La dynamique des processus de marginalisation: de la vulnérabilité à la désaffiliation. *Cahiers de recherche sociologique*, (22), 11-27.
- Robert, V., Macintyre, K., Keating, J., Trape, J. F., Duchemin, J. B., Warren, M., & Beier, J. C. (2003). « Malaria transmission in urban sub-saharan Africa », *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 68(2): 169-176.



- Robert, V., Macintyre, K., Keating, J., Trape, J. F., Duchemin, J. B., Warren, M., & Beier, J. C. (2003). Malaria transmission in urban sub-Saharan Africa. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 68(2), 169-176.
- Robert, V., Molez, J. F., & Becker, C. (1997). L'évolution de la recherche et de la lutte contre le paludisme en Afrique de l'Ouest au 20e siècle in Becker, C., Mbaye, S., & Thioub, I. *AOF : réalités et héritages : sociétés ouest-africaines et ordre colonial, 1895-1960*. Dakar : Direction des Archives Nationales du Sénégal, 1175-1186.
- Robert, V., Trape, J. F., & Rogier, C. (2011). Malaria parasites: elimination is not eradication. *Clinical Microbiology and Infection*, 17(11), 1597-1599.
- Robic, M. C. (1992). *Du milieu à l'environnement: pratiques et représentations du rapport homme/nature depuis la Renaissance*. Paris : Economica, 343 p.
- Robic, M. C. (2003). La ville, objet ou problème?. *Sociétés contemporaines*, 49(1), 107-138.
- Robic, M. C. (2004). Rencontres et voisinages de deux disciplines. *Ethnologie Française*, (4), 581-590.
- Robic, M. C. (2008). Tropicalisme, zonalité, géographie tropicale. Communication au congrès Les tropiques des géographes, Bordeaux, Maison des sciences de l'homme d'Aquitaine, Jan 2007.
- Robin, J. (1991). Les quatre approches de l'écologie. *Transversales*, 2, 21-37.
- Rofort, M. F. (1987). *Les topographies médicales. Une géographie des maladies et de la santé aux XVIIIe et XIXe siècles*. Thèse, Université Paris 7, 442 p.
- Rogers, D. J., Randolph, S. E., Snow, R. W., & Hay, S. I. (2002). Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature*, 415(6872), 710-715.
- Rogier, C. (2004). Comment diagnostiquer les accès palustres. *Médecine tropicale*, 64, 319-320.
- Rogier, C., Henry, M. C., & Spiegel, A. (2001). Diagnostic des accès palustres en zone d'endémie: bases théoriques et implications pratiques. *Médecine tropicale*, 61, 27-46.
- Rogier, C., & Trape, J. F. (1995). Etude de l'acquisition de la prémunition en zones d'holo-et de meso-endémie palustre à Dielmo et à Ndiop (Senegal): résultats préliminaires, 1990-1994. *Médecine tropicale*, 55(4), 71-76.
- Rogier, C., Sallet, G. (2004). Modélisation du paludisme. *Médecine tropicale*, 64, 89-97.

- Rogier, C., Henry, M. C., Trape, J. F. (2009). Evaluation épidémiologique du paludisme en zone d'endémie. *Médecine tropicale*, 69(2), 123-142.
- Rogier, C., Orlandi-Pradines, E., Fusai, T., Pradines, B., Briolant, S., Almeras, L. (2006). Vaccins contre le paludisme: perspectives et réalité. *Médecine et maladies infectieuses*, 36(8), 414-422.
- Ross, R. (1911). *The Prevention of Malaria*. London: John Murray, 651-686 p.
- Ross, R. (1928). *Studies on Malaria*. London: John Murray.
- Rouanet, H., & Le Roux, B. (1993). *Analyse des données multidimensionnelles*. Paris, Dunod, 309 p.
- Roudier Daval, C. (2006). Les maladies parasitaires en milieu urbain. Intérêt et limites de l'analyse spatiale (L'exemple de Mbandjock au Cameroun). *Espace populations sociétés* (2006/2-3), 381-392.
- Rougemont, A., & Brunet-Jailly, J. (1989). *Planifier, gérer, évaluer la santé en pays tropicaux*. Paris, Doin ACCT, 751 p.
- Said, E. (1978). *Orientalism*. New-York: Pantheon Books, 368 p.
- Saint-Julien, T. (1985). *La diffusion spatiale des innovations*. Montpellier : Reclus, coll. modes d'emploi, 40 p.
- Saint-Julien T. (2003). Analyse spatiale in Lévy, J., Lussault, M., *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Paris, Belin, 939-941.
- Salem, G. (1995). Géographie de la santé, santé de la géographie. *Espace, populations, sociétés*, 13(1), 25-30.
- Salem, G. (1998). *La santé dans la ville: géographie d'un petit espace dense: Pikine (Sénégal)*. Paris : Karthala Editions, 360 p.
- Salem, G., Legros, F., Lefebvre-Zante, E., Ndiaye, G., Bouganali, H., Ndiaye, P., Bouganali, H., Ndiaye, P., Badji, A., Trape, J. F. (1994). Espace urbain et risque anophélien à Pikine (Sénégal). *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*, 4(5), 347-357.
- Salem, G., & Fournet, F. (2003). Villes africaines et santé: repères et enjeux. *Bulletin de la société de pathologie exotique*, 96(3), 145-148.
- Sallet, G., Rogier, C. (2009). Modèles contre maladies infectieuses par Gauthier Sallet. Le paludisme fait de la résistance, entretien avec Christophe Rogier, propos recueillis par Dominique Chouchan. *La Recherche Les Cahiers de l'Inria*, (433 septembre 2009), 4 p.

- Salomon, J. N. (2009). Jean Demangeot (1916-2009)-Un grand géographe tropicaliste. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 62(62), 271-272.
- Saugeon, C., Baldet, T., Akogbeto, M., & Henry, M. C. (2009). Le climat et la démographie peuvent-ils avoir un impact important sur le paludisme en Afrique subsaharienne dans les 20 prochaines années?. *Médecine tropicale*, 69(2), 203-207.
- Sautter, G. (1966). *De l'Atlantique au fleuve Congo: une géographie du sous-peuplement. République du Congo, République gabonaise* (Vol. 1). La Haye : Mouton, 582 p.
- Sautter, G. (1973). Recherches en cours sur les villes d'Afrique noire: thèmes et problèmes: Point de vue d'un géographe. *Cahiers d'études africaines*, 405-416.
- Sautter, G. (1975). Le système géographique de Pierre Gourou. *L'Espace géographique*, 3, 153-64.
- Schaefer, F. K. (1953). Exceptionalism in geography: a methodological examination. *Annals of the Association of American geographers*, 43(3), 226-249.
- Seck, A. (1970). *Dakar, métropole ouest-africaine* (Vol. 85). Dakar : IFAN, 516 p.
- Sen, A. (1983). Poor, relatively speaking. *Oxford economic papers*, 153-169.
- Sion J. (1929). L'Asie des Moussons. In Vidal de La Blache, P., Gallois, L. *Géographie universelle*. Paris : A. Colin, 548 p.
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292.
- Snow, R. W., Amratia, P., Kabaria, C. W., Noor, A. M., Marsh, K. (2012). The changing limits and incidence of malaria in Africa: 1939–2009. *Advances in parasitology*, 78, 169.
- Sokhna, C., Cissé, B., Bâ, E. H., Milligan, P., Hallett, R., Sutherland, C., Gaye, O., Boulanger, D., Simondon, K., Simondon, F., Targett, G., Lines, J., Greenwood, B., Trape, J. F. (2008). A trial of the efficacy, safety and impact on drug resistance of four drug regimens for seasonal intermittent preventive treatment for malaria in Senegalese children. *PLoS One*, 3(1), e1471.
- Solotareff, M. (1996). Naissance et évolution de la géographie tropicale (1930-1960), in Claval, P., & Sanguin, A. L. *La géographie française à l'époque classique (1918-1968)*. Paris : l'Harmattan.
- Sorre, M. (1933). Complexes pathogènes et géographie médicale. *Annales de géographie*. Paris : A. Colin, 1-18.

- Sorre, M. (1943). *Fondements biologiques de la géographie humaine, essai d'une écologie de l'homme*. Paris : A. Colin, 440 p.
- Steel, R.W. (1964). Geographers and the tropics, in Steel, R. W., & Prothero, R. M. *Geographers and the Tropics*. Liverpool Essays, London: Longman, 1-29.
- Stern, V. M., Smith, R. F., Van den Bosch, R., & Hagen, K. S. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid. The integrated control concept. *Hilgardia*, 29(2), 81-101.
- Taglioni, F., Dehecq, J. S. (2009). L'environnement socio-spatial comme facteur d'émergence des maladies infectieuses. *EchoGéo*, (9).  
URL : <http://echogeo.revues.org/11168> ; DOI : 10.4000/echogeo.11168
- Tall, S. M. (1994). Les investissements immobiliers à Dakar des émigrants sénégalais. *Revue européenne des migrations internationales*, 10(3), 137-151.
- Tall, S. M. (2009). *Investir dans la ville africaine: les émigrés et l'habitat à Dakar*. Paris : Karthala Editions, 286 p.
- Taubenböck, H., Post, J., Roth, A., Zosseder, K., Strunz, G., & Dech, S. (2008). A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing. *Natural Hazards and Earth System Science*, 8(3), 409-420.
- Teklehaimanot, A., & Mejia, P. (2008). Malaria and poverty. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1136(1), 32-37.
- Théry, H. (1989). *Le Brésil*. Paris : Masson, 241 p.
- Thywissen, K. (2006). *Components of risk: a comparative glossary*. Bonn : UNU-EHS, 52 p.
- Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic geography*, 234-240.
- Tonnellier, F., & Vigneron, E. (1999). *Géographie de la santé*. Paris : PUF, 127 p.
- Tran, A. (2004). *Télédétection et Épidémiologie: Modélisation de la dynamique de populations d'insectes et application au contrôle de maladies à transmission vectorielle*. Thèse Université Louis Pasteur Strasbourg, 199 p.
- Tran, A., Biteau-Coroller, F., Guis, H., & Roger, F. (2005). Modélisation des maladies vectorielles. *Epidémiol et santé anim*, 47, 35-51.

- Trape, J. F. (1986) *L'impact de l'urbanisation sur le paludisme en Afrique centrale*. Thèse, Université d'Orsay-paris sud, 410 p.
- Trape, J. F. (1989). Paludisme et urbanisation en Afrique centrale. *Urbanisation et santé dans le Tiers Monde*, 177-180.
- Trape, J. F., Lefebvre-Zante, E., Legros, F., Ndiaye, G., Bouganali, H., Druilhe, P., & Salem, G. (1992). Vector density gradients and the epidemiology of urban malaria in Dakar, Senegal. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 47(2), 181-189.
- Trape, J. F. (2001). Contre: Les limites des moustiquaires imprégnées dans la lutte contre le paludisme en Afrique tropicale. *Bull Soc Pathol Exot*, 94(2), 174-179.
- Trape, J. F., Sauvage, C., Ndiaye, O., Douillot, L., Marra, A., Diallo, A., Cisse, B., Greenwood, B., Milligan, P., Sokhna, C., Molez, J. F. (2012). New malaria-control policies and child mortality in Senegal: reaching Millennium Development Goal 4. *Journal of Infectious Diseases*, 205(4), 672-679.
- Trape, J. F., Tall, A., Diagne, N., Ndiath, O., Ly, A. B., Faye, J., Dieye-Ba, F., Roucher, C., Bouganali, C., Badiane, A., Diene Sarr, F., Mazenot, C., Touré-Baldé, A., Raoult, D., Druilhe, P., Mercereau-Pujalon, O., Rogier, C., Sokhna, C. (2011). Malaria morbidity and pyrethroid resistance after the introduction of insecticide-treated bednets and artemisinin-based combination therapies: a longitudinal study. *The Lancet infectious diseases*, 11(12), 925-932.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Reading MA : Addison Wesley, 688 p.
- Ullman, E. L. (1941). A theory of location for cities. *American Journal of sociology*, 853-864.
- Ullman, E. L. (1980). *Geography as spatial interaction*. Seattle, WA : University of Washington Press, 231 p.
- Un-Habitat (2007). Senegal : Profil Urbain de Dakar. *Rapid Urban Sector Profiling for Sustainability (RUSPS)*, Regional Office for Africa and the Arab States, 27 p.
- UNISDR (2005). Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters, in *Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction (A/CONF. 206/6)*.
- Urry, J. (2003). *Global complexity*. Cambridge : Polity press, 172 p.
- Vaillant, Z., Salem, G., & Marin, C. (2008). *Atlas mondial de la santé: quelles inégalités? quelle mondialisation?*. Paris : Éditions Autrement, collection Atlas Monde, 79 p.

- Vallée, J. (2008). *Urbanisation et santé à Vientiane (Laos). Les disparités spatiales de santé dans la ville*. Thèse, Université Paris X- Nanterre, 360 p.
- Vélasco-graciet, H. (2008). *Les tropiques des géographes*. Pessac : Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine, 234 p.
- Vennetier, P. (1968). *Pointe-Noire et la façade maritime du Congo-Brazzaville*. Mémoire n°26. Paris : ORSTOM, 458 p.
- Vennetier, P. (1991). *Les villes d'Afrique tropicale*. Paris : Masson (2<sup>ème</sup> édition), 244 p.
- Vercruysse, J., & Jancloes, M. (1981). Etude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans la zone urbaine de Pikine (Sénégal). *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, 19(3), 165-178.
- Vercruysse, J., Jancloes, M., & Van de Velden, L. (1983). Epidemiology of seasonal falciparum malaria in an urban area of Senegal. *Bulletin of the World Health Organization*, 61(5), 821.
- Verdrager, J., Simanjuntak, C. H., & Saroso, J. S. (1975). Chloroquine-resistant Falciparum malaria in East Kalimantan, Indonesia. *WHO/MAL/75.863*, 1-12.
- Verdrager, J. (1995). Localized permanent epidemics: the genesis of chloroquine resistance in Plasmodium falciparum. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 26(1), 23-28.
- Verdrager, J. (2005). *L'OMS et le paludisme: mémoires d'un médecin spécialiste de la malaria*. Paris : L'Harmattan, 186 p.
- Vernazza-Licht, N., Gruénais, M. E., & Bley, D. (2010). *Sociétés, environnements, santé*. Marseille : IRD éditions, 364 p.
- Vernière, M. (1973). Campagne, ville, bidonville, banlieue: migrations intra-urbaines vers Dagoudane-Pikine, ville nouvelle de Dakar-Sénégal. *Cahiers des sciences humaines*, 10(2/3), 217-243.
- Veyret Y. (2007). *Dictionnaire de l'environnement*. Paris : Armand Colin, 403 p.
- Vidal, L. (2004). *Les objets de la santé*. Paris : Armand Colin, 165 p.
- Vigneron, E. (1995). La géographie de la santé: un agenda qui se précise. *Espace, populations, sociétés*, 13(1), 31-41.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory : foundations, development, applications*. New York,: Braziller, 289 p.

- Von Bertalanffy, L. (1973). The meaning of general system theory. *General system theory: Foundations, development, applications*, 30-53.
- Waldrop, M. M. (1992). *Complexity: The emerging science at the edge of chaos*. New York :Simon and Schuster, 384 p.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H., Jackson, D. D., & Morche, J. (1972). *Une logique de la communication*. Paris : Seuil, 201 p.
- Wernsdorfer, W., Hay, S. I., & Shanksc, G. D. (2009). 6| learning FroM hiStory. *Shrinking the Malaria Map*, 95.
- Wesolowski, A., Eagle, N., Tatem, A. J., Smith, D. L., Noor, A. M., Snow, R. W., & Buckee, C. O. (2012). Quantifying the impact of human mobility on malaria. *Science*, 338(6104), 267-270.
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*,311(5985), 419-424.
- Yang, H. M. (2000). Malaria transmission model for different levels of acquired immunity and temperature-dependent parameters (vector). *Revista de Saúde Pública*, 34(3), 223-231.
- Younus, M., Hartwick, E., Siddiqi, A. A., Wilkins, M., Davies, H. D., Rahbar, M., Funk, J., & Saeed, M. (2007). The role of neighborhood level socioeconomic characteristics in Salmonella infections in Michigan (1997-2007): assessment using geographic information system. *Int J Health Geography*, 6(56).
- Zongo, P. (2009). *Modélisation mathématique de la dynamique de la transmission du paludisme*. Thèse de doctorat. Université de Ouagadougou, 144 p.
- Zwirn, H. (2006). *Les systèmes complexes - Mathématiques et biologie*. Paris : Odile Jacob, 219 p.





## Table des figures

Figure 1 : Protocole de recherche envisagé .....	17
Figure 2 : Représentation schématique de la chaîne épidémiologique du paludisme .....	25
Figure 3 : Frise simplifiée de l'histoire récente du paludisme .....	29
Figure 4 : Distribution du paludisme dans le monde de 1900 à 2002 (d'après Hay et al., 2004) .....	30
Figure 5 : Frise chronologique simplifiée du Sénégal.....	38
Figure 6 : Situation géographique du Sénégal .....	39
Figure 7 : Extrait du rapport 2010 du PNLP, Sénégal.....	41
Figure 8 : Extrait II du rapport 2010 du PNLP, Sénégal .....	42
Figure 9 : Synthèse des étapes d'élimination du paludisme.....	44
Figure 10 : Le système socio-pathogène simplifié du paludisme urbain .....	49
Figure 11 : Schématisation des facteurs de risques de la transmission en milieu urbain .....	50
Figure 12 : Les conséquences paradoxales du paludisme urbain.....	52
Figure 13 : Le taux de prévalence dans l'agglomération de Dakar, du paludisme avéré au paludisme ressenti .....	59
Figure 14 : les quatre communes de l'agglomération de Dakar .....	61
Figure 15 : Localisation des niayes et marigots dans les années 30.....	62
Figure 16 : Première figure de l'ouvrage Le microscope .....	70
Figure 17 : Du facteur de risque à l'indicateur de la maladie (Handschumacher, Laffly & Hervouët, 2002).....	77
Figure 18 : Profil économique des districts de recensement dakarois.....	117
Figure 19 : Les inégalités de richesse dans l'agglomération dakaroise en 2002 .....	118
Figure 20 : Profils types des tissus urbains des districts de recensements .....	121
Figure 21 : Les six types de tissus urbains issus de la classification supervisée de l'occupation du sol, 2007 .....	122
Figure 22 : Tissu urbain 1 .....	124
Figure 23 : Tissu urbain 2 .....	125
Figure 24 : Tissu urbain 3 .....	126
Figure 25 : Tissu urbain 4 .....	127
Figure 26 : Tissu urbain 5 .....	128
Figure 27 : Tissu urbain 6 .....	129
Figure 28 : Cartographie des contributions au Chi <sup>2</sup> .....	133
Figure 29 : Typologie des espaces à détecter.....	142
Figure 30 : Zone basse avec maisons abandonnées .....	143
Figure 31 : Des zones en eaux permanentes depuis 2005 et 2009 .....	144
Figure 32 : Les sites de reproduction potentiels de l'espèce vectrice en septembre 2008.....	148
Figure 33 : La densité de population de l'agglomération Dakaroise en 2002.....	157
Figure 34 : Les densités nettes dans l'agglomération de Dakar .....	159

Figure 35 : Mesure de la vulnérabilité sociale à Dakar .....	165
Figure 36 : Comparaison de moyenne par catégorie de VS de trois variables censitaires .....	167
Figure 37 : Détails des éléments combinés pour l'estimation de la vulnérabilité au paludisme-infection .....	168
Figure 38 : Modèle du risque d'exposition au paludisme urbain à Dakar .....	169
Figure 39 : Densité de probabilité du taux d'agressivité anophélien .....	176
Figure 40 : Histogrammes des transformations mathématiques opérées sur le taux d'agressivité anophélien .....	176
Figure 41 : Les boîtes à moustaches du taux d'agressivité en fonction de la typologie des tissus urbains .....	177
Figure 42 : Comparaison visuelle des moyennes du taux d'agressivité par tissu urbain .....	178
Figure 43 : Boîtes à moustaches et densité de probabilité du taux d'agressivité en fonction de la typologie de vulnérabilité sociale avec rappel cartographique des variables .....	180
Figure 44 : Les logiques d'occupation de l'espace. Schématisation des éléments d'intérêt de la statistique spatiale .....	182
Figure 45 : LISA et BiLISA : des outils pour l'étude de la corrélation spatiale des variables (D'après Anselin, 1995 et Anselin et al., 2002) .....	183
Figure 46 : Représentation graphique du plan factoriel de l'ACP final sur les données censitaires .....	185
Figure 47 : Diagramme des corrélations entre F1 et le taux d'agressivité .....	186
Figure 48 : Diagramme des corrélations entre F1 et le taux d'agressivité en fonction des tissus urbains .....	186
Figure 49 : Cartographie des résultats du LISA bivarié .....	188
Figure 50 : Le taux de prévalence de paludisme entre septembre et décembre 2008 chez les femmes et les enfants dans les 50 sites d'études ACTUPALU .....	190
Figure 51 : Le taux de prévalence des DR enquêtés selon la typologie des BiLISA .....	192
Figure 52 : Le taux de prévalence de paludisme entre septembre et décembre 2008 chez les enfants dans les 50 sites d'études ACTUPALU .....	197
Figure 53 : Le taux de prévalence de paludisme entre septembre et décembre 2008 chez les femmes dans les 50 sites d'études ACTUPALU .....	197
Figure 54 : Description de l'ACM .....	205
Figure 55 : Nuage de point des individus entre F1 et F2 .....	205
Figure 56 : Dendogramme de la CAH .....	206
Figure 57 : Situation géographique des lieux cités dans le texte .....	227
Figure 58 : Exemple publié dans Plos ONE (2012) "Predicted <i>An.gambiae</i> s.l. HBR (step 3, number of bites per person per night) for September 22, 2009." .....	230
Figure 59 : Les zones d'enquêtes ACTUPALU .....	232

## Table des tableaux

Tableau 1 : Présentation des données mobilisées.....	18
Tableau 2 : Extraits des documents faisant référence à la méthode Pinotti.....	33
Tableau 3 : Listes des données utilisées .....	112
Tableau 4 : Les variables censitaires sélectionnées pour l'analyse des inégalités de richesse .....	116
Tableau 5 : Classification croisée des districts de recensement en fonction de leur appartenance aux classes de richesse/pauvreté et à leur profil urbain.....	131
Tableau 6 : Tableau du Chi <sup>2</sup> (en gras : contributions significatives. En bleu : résidus positifs, en rouge, résidus négatifs) .....	131
Tableau 7 : Synthèse des métadonnées.....	146
Tableau 8 : ANOVA entre le taux d'agressivité et les types de tissus urbains .....	174
Tableau 9 : Test de Kruskal-Wallis entre le taux d'agressivité et les types de tissus urbains.....	175
Tableau 10 : Croisements entre la typologie de vulnérabilité, le risque de piqûres et le taux de prévalence .....	191
Tableau 11 : Résultat du test de goutte épaisse pour les femmes et les enfants entre 2 et 10 ans .....	199
Tableau 12 : Résultat de l'association entre l'état infecté des enfants et des femmes appartenant au même ménage .....	200
Tableau 13 : Descriptif du modèle logistique pour les enfants issus des résultats ACTUPALU .....	201
Tableau 14 : Listes des variables d'intérêt au niveau du ménage dans l'étude du portage asymptomatique de Plasmodium chez les enfants de 2 à 10 ans et chez les femmes .....	202
Tableau 15 : Relation d'indépendance entre le niveau de vie du ménage et le portage asymptomatique chez l'enfant de 2 à 10 ans .....	208
Tableau 16 : Relation d'indépendance entre le niveau de vie du ménage et le portage asymptomatique chez la femme adulte.....	208
Tableau 17 : Modalité de la distance sociale globale.....	209
Tableau 18 : Relation d'indépendance entre la distance sociale globale et le portage asymptomatique chez l'enfant de 2 à 10 ans .....	209
Tableau 19 : Relation d'indépendance entre la distance sociale globale et le portage asymptomatique chez la femme adulte.....	210
Tableau 20 : Facteurs de risques de paludisme-infection chez les enfants de 0 à 10 ans issus de la régression logistique .....	212

## Table des encadrés

Encadré 1 : Immunité et paludisme.....	27
Encadré 2 : Elimination ou éradication?.....	45
Encadré 3 : Déterminants de santé, facteurs de risque sanitaire : quelles différences? .....	53
Encadré 4 : De la difficulté de distinguer le paludisme endogène du paludisme d'importation... .....	71
Encadré 5 : Pierre GOUROU, chef de file par écrit.....	79
Encadré 6 : Géographie tropicale, nouvelle géographie : une fausse dualité .....	90
Encadré 7 : Relogement, éloignement, marginalisation par l'Etat .....	130
Encadré 8 : Les liens entre vulnérabilité sociale et pauvreté.....	163
Encadré 9 : Dépendance, symétrie et logique de raisonnement .....	184





# Table des matières

Remerciements .....	i
Sommaire .....	iii
Sigles.....	v
 <b>Introduction générale</b> .....	 9
Du choix du sujet d'étude.....	9
...en géographie.....	12
Questionnements de recherche .....	14
Démarche méthodologique envisagée.....	15
Structuration de la thèse .....	18
 <b>PARTIE I DE LA MALADIE " DES MARAIS " A CELLE DE LA PAUVRETE : MECANISME DE TRANSMISSION DU PALUDISME ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE GLOBALE</b> .....	   21
 <b>CHAPITRE 1. Le paludisme dans le monde : une maladie ancestrale</b> .....	 23
1 La chaîne épidémiologique du paludisme .....	23
1.1 Récapitulatif des caractéristiques de la transmission .....	23
1.1.1 Les signes pathognomoniques du paludisme .....	25
1.2 Causalité et distribution de la pathologie : un siècle de découverte .....	27
2 Les desseins de l'éradication .....	30
2.1 Les problèmes techniques de l'éradication : zoom sur l'Afrique tropicale.....	31
2.1.1 Quand le complexe pathogène fait de la résistance.....	32
2.1.2 Etre sur tous les fronts : de la lutte anti-vectorielle à la gestion intégrée .....	34
2.1.3 Vers le contrôle de la maladie.....	36
2.2 Repères épidémiologiques et situation du Sénégal .....	37
2.2.1 La place du Sénégal : terrain de jeux et d'enjeux .....	39
2.2.2 L'étape suivante : vers l'élimination du paludisme.....	43
 <b>CHAPITRE 2. Lecture d'un système pathogène complexe : présentation des éléments, état des modélisations existantes et spécificité du paludisme urbain</b> .....	 47
1 Modélisation du complexe pathogène : quelques éléments contextuels .....	48
1.1 Du complexe pathogène au système pathogène .....	48
1.2 Modèle conceptuel des déterminants et facteurs du paludisme .....	49
1.3 Modéliser le paludisme ou la naissance de la modélisation mathématique .....	53

1.4	Les spécificités du paludisme en milieu urbain : des intérêts aux difficultés d'application des modèles existants .....	56
1.4.1	Sous- ou surestimer les données : les différentes façons " d'avoir le palu " .....	57
2	L'agglomération Dakaroise : un cas d'école .....	59
2.1	Géographie des quatre communes étudiées .....	60
2.2	Les caractéristiques de l'environnement Dakarois .....	61
2.3	Les recherches récentes sur l'agglomération : état des lieux .....	62
<b>CHAPITRE 3. De l'intérêt du raisonnement géographique sur un fait de santé - Enjeu et positionnement de recherche .....</b>		<b>65</b>
1	L'étude géographique du paludisme à Dakar, enjeux de recherche .....	65
1.1	Définir l'échelle d'étude : de l'intérêt des espaces "du proche" .....	68
1.2	Une approche d'écologie humaine : liens entre l'écologie et la géographie .....	72
1.3	Les relations environnement et santé .....	75
2	Géographe "entre les tropiques" : retour sur l'existence d'une géographie tropicale .....	77
2.1	Qu'est-ce que la géographie tropicale? .....	78
2.2	Découvrir l'ailleurs par la pratique : le terrain des tropicalistes .....	83
2.3	« Nommer c'est créer un peu » (Raison, 2007) .....	85
3	Des géographies déclinées au pluriel, positionnement de la recherche .....	86
3.1	Se revendiquer de la géographie théorique et quantitative en étudiant un espace tropical .....	87
3.1.1	Dépasser l'hermétisme de la géographie tropicale pour la nouvelle géographie ....	88
3.1.2	Analyse spatiale et épidémiologie dans le cas des maladies vectorielles tropicales .	91
3.2	Vers une approche systémique .....	92
3.2.1	Le tournant de la complexité .....	93
3.2.2	L'application de la pensée complexe aux questions de santé .....	94
3.3	La géographie de la santé, un label pour quelle existence ? .....	96
3.3.1	Géographes, géographes de la santé : quelles différences? .....	97
3.3.2	SHS et santé : l'apport de l'anthropologie et de la sociologie .....	98
3.4	Théorie de la complexité, géographie et interdisciplinarité .....	100
3.4.1	Pratiquer l'interdisciplinarité, une exigence du monde à l'égard des hommes ? ..	101
<b>PARTIE II QUALIFIER LES ESPACES URBAINS DE L'AGGLOMÉRATION DAKAROISE : IDENTIFIER LES SOUS-ESPACES DE LA VILLE POUR ÉCLAIRER LES CONTEXTES À RISQUE PALUSTRE .....</b>		<b>107</b>
<b>CHAPITRE 4. Approches classiques d'analyse du contexte urbain - Le cas de l'agglomération Dakaroise .....</b>		<b>109</b>
1	Mieux connaître le local : analyse à échelle fine des contextes socio-spatiaux .....	110



1.1	Du recensement à l'imagerie satellite : caractériser l'espace urbain.....	110
1.1.1	Présentation des données mobilisées.....	111
1.1.2	Les districts censitaires, une maille nouvelle dans l'étude géographique de Dakar..	113
1.1.3	Déterminer les caractéristiques socio-économiques des espaces .....	114
1.2	Un rêve déjà ancien : voir le paysage social à distance .....	119
1.2.1	Une classification supervisée de l'occupation du sol.....	119
1.2.2	Caractérisation des types de tissus urbains .....	122
1.3	De l'occupation du sol aux inégalités de richesse : quels liens? .....	130
1.3.1	Mesure de la relation .....	131
1.3.2	La morphologie urbaine, un proxy des variables sociales? .....	134
<b>CHAPITRE 5. Rechercher les paysages préférentiels du vecteur du paludisme à Dakar ....</b>		<b>137</b>
1	Les particularités de l'environnement dakarois.....	138
1.1	Paysages pathogènes, faciès épidémiologiques et jeu d'échelles .....	138
1.2	Inventaire des macro-gîtes larvaires potentiels de l'agglomération .....	139
2	Des anophèles à Dakar : images satellites et indicateurs environnementaux .....	144
2.1	Modèles géographiques : présence et abondance de la faune anophélienne .....	145
2.2	Extraction des variables environnementales et distance aux gîtes.....	145
<b>PARTIE III ANALYSES ET MESURES DES DISTANCES A L'INFECTION : RECONSTRUIRE LE PUZZLE EPIDEMIOLOGIQUE PALUSTRE DANS L'AGGLOMERATION DAKAROISE.....</b>		<b>153</b>
<b>CHAPITRE 6. Le risque d'épidémie palustre "à mi-distance de la misère et du soleil" .....</b>		<b>155</b>
1	Anophélisme et densité humaine : estimation de la distance hôte-vecteur.....	156
1.1	L'effet de dilution des piqûres.....	157
2	Vulnérabilité et distance sociales au paludisme-infection : élaboration du cadre conceptuel....	160
2.1	Pourquoi la distance? .....	160
2.2	Du concept à la mesure : comment caractériser les groupes ou territoires supports de populations vulnérables .....	163
3	Un premier modèle cartographique des foyers à risque épidémique potentiel à Dakar .....	167
<b>CHAPITRE 7. L'inscription spatiale du paludisme-infection. Effets des distances spatiale et sociale.....</b>		<b>171</b>
1	Des moustiques et des hommes : structuration géographique des interactions hôtes-vecteurs....	171
1.1	Risque entomologique et taux d'agressivité .....	172
1.2	Distance géographique et tissus urbains : des lieux de prédilection du vecteur identifiables?.....	173
1.3	Anophèles et populations vulnérables, des localisations concordantes? .....	179

2	Les effets du social sur la distance géographique : une distribution spatiale étroite entre l'hôte et le vecteur .....	181
2.1	Une dépendance spatiale entre distance géographique et distance sociale.....	181
2.2	La vulnérabilité frappe-t-elle toujours deux fois ? .....	189
<b>CHAPITRE 8. Echelle individuelle, échelle agrégée : quelles distances sociales dans le risque palustre? .....</b>		
		195
1	Taux de prévalence et résultat de goutte épaisse : descriptif de la variable .....	195
1.1	De l'individu au ménage : description et lien des résultats des tests femme-enfant ..	198
2	Et du côté des variables explicatives? Justification des données retenues .....	200
2.1	Les résultats de l'enquête épidémiologique : zoom sur la mobilité des enfants .....	201
2.2	Les variables du questionnaire ménage : analyses descriptives des données susceptibles d'influencer le portage asymptomatique de parasite .....	202
2.2.1	Création d'indice synthétique : regrouper les variables socio-économiques.....	204
3	Effet de contexte, effet de composition. "Avoir les moyens" d'un modèle multi-niveau .....	207
3.1	Un indice multi-niveau de distance sociale.....	208
3.2	Prendre ses distances : un choix socialement orienté? .....	211
<b>Conclusion générale.....</b>		217
Poser quelques nouvelles pièces sur le grand puzzle du paludisme urbain.....		217
Et demain, un vaccin contre le paludisme ? .....		218
Les moyens d'avoir une attitude holistique.....		220
Postface .....		223
Une conclusion ou plutôt un début ? .....		223
En fin.....		225
Annexe 1 : Carte de situation avec référence aux lieux cités dans le texte .....		227
Annexe 2 : Résumé de la construction de la variable modélisée : taux d'agressivité.....		229
Annexe 3 : le projet ACTUPALU .....		231
Bibliographie.....		237
Table des figures.....		271
Table des tableaux .....		273
Table des encadrés.....		274

Table des matières .....	277
Résumé / Abstract.....	284



## Résumé / Abstract

Cette thèse défend l'intérêt d'appliquer une démarche d'analyse exploratoire de données spatiales pour examiner un phénomène complexe irréductible, dans un contexte limité en données : le paludisme-infection à Dakar. Chaque partie du système pathogène du paludisme est nécessaire mais non suffisante au fonctionnement du système. Il n'y a paludisme-infection que lorsque les trois composantes sont en contact : le parasite, le vecteur et l'hôte humain. La recherche des lieux où ces contacts peuvent s'opérer facilement est donc primordiale dans la lutte contre le paludisme et l'amélioration des programmes visant à la diminution voire l'élimination de la maladie. L'analyse exploratoire, encore très peu appliquée dans les pays dits du Sud, se définit ainsi comme une démarche de recherche mais aussi comme un moyen d'apporter des réponses aux besoins sanitaires. Elle pousse à l'observation, sous différents angles, des déterminants sociaux et spatiaux qui sont impliqués dans la réalisation du phénomène, tout comme à l'examen des interactions existantes entre eux.

Nous avons récolté des informations quantitatives variées, en lien direct et indirect avec l'étude du paludisme. Interprétation d'images satellites, données censitaires, résultats d'enquêtes sociales et sanitaires ont été intégrées dans un système d'information géographique pour décrire la ville et ses habitants. Le croisement de ces sources a permis d'étudier les faces spatiales du risque épidémique palustre. Le recours à des analyses statistiques et géostatistiques, bivariées et multivariées, a permis de souligner que le risque d'infection des populations dépendait fortement d'une distance, que l'on a qualifié de sociale. Celle-ci décrit la faculté des habitants à s'extraire du risque d'infection en s'éloignant, physiquement ou matériellement, des espaces pathogènes, lieux de prolifération de vecteurs potentiellement infectés. On a pu ainsi montrer le lien fort existant entre l'exposition (qui favorise un réservoir parasitaire plus important dans les quartiers défavorisés), et la vulnérabilité sociale des individus (qui augmente considérablement le risque d'infection au paludisme).

**Mot clés :** Dakar, risque, paludisme-infection, distance spatiale, distance sociale, analyse exploratoire de données spatiales

---

This thesis applies an Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) approach to study a complex phenomenon in a data scarce environment: malaria infection in Dakar. Each component of the malaria pathogenic system is necessary but not sufficient to result in an infection when acting in isolation. For malaria infection to occur, three components need to interact: the parasite, the vector, and the human host. The identification of areas where these three components can easily interact is therefore essential in the fight against malaria and the improvement of programs for the prevention and control or elimination of the disease. ESDA, still rarely applied in developing countries, is thus defined as a research approach but also as a way to provide answers to global health challenges. It leads to observation, from different angles, on the social and spatial determinants of malaria infection, as well as the examination of existing interactions between its three components.

Several streams of quantitative information were collected, both directly and indirectly related to the study of malaria. More specifically, multi-temporal satellite imagery, census data, and results from social and health surveys have been integrated into a Geographic Information System (GIS) to describe the city and its inhabitants. Combining these datasets has enabled to study the spatial variability of the risk of malaria infection. The use of statistical and geostatistical analysis, including both bi- and multivariate statistics, has revealed that the risk of infection in Dakar is highly dependent on the so-called 'social distance'. It describes the physical or economic ability of residents to move away from potential areas at risk, by avoiding the pathogenic areas, i.e., places where potentially infected vectors proliferate. Thus, a strong link between exposure (which results in a bigger parasite reservoir in marginalized areas) and social vulnerability of individuals (which increases substantially the risk of malaria infection) has been outlined.

**Keywords:** Dakar, risk, malaria infection, spatial distance, social distance, Exploratory Spatial Data Analysis